

Projet de Fin d'Étude
Rapport Intermédiaire

*« Détermination d'un Wafer à Risque dans une ligne de
production »*

Équipe 5^{ème} Année : Team-War
Jaafar AMRANI-MESBAHI
Fabien GARCIA
ABDELALI NAIT BELKACEM
Rahma NAKARA
Philippe NGUYEN



Génie Industriel et Informatique

Tuteur :

Claudia Frydmann

Mercredi 10 Novembre

Team-war@prunetwork.fr

Table des matières

Liste des symboles	5
partie 1. Etat de l'art	6
Introduction	7
Chapitre 1. Methode D^3	8
1.1. Généralités	8
1.2. Objectifs de la méthode	8
1.3. Hypothèse de la méthode	8
1.4. L'algorithme	9
1.5. Algorithme détaillé	9
Chapitre 2. Optimized design of control plans based on risk exposure and resources capabilities	12
Chapitre 3. L'utilisation du jugement d'expert en sûreté de fonctionnement	14
3.1. Utilisation de l'avis d'experts	14
3.2. AMDEC	14
Chapitre 4. Appréciation du risque	17
4.1. Méthode générale	17
4.2. Gravité du dommage (G) :	17
4.3. Fréquence ou durée d'exposition au phénomène dangereux (F)	18
4.4. Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (O)	18
4.5. Possibilité d'évitement du dommage (P)	18
4.6. réduction du risque	18
Chapitre 5. An approach for operational risk[1]	20
5.1. Description de la méthode	20
5.2. Résultats	22
5.3. Remarques	23
Chapitre 6. Optimizing return on inspection[3]	24
6.1. Introduction	24
6.2. Description de l'algorithme	24
6.3. Resultats	26
6.4. Remarques	26
Chapitre 7. Computation of wafer at risk[4]	27
7.1. Introduction	27
7.2. Description de l'algorithme	27
7.3. Résultats	28
7.4. Remarques	28
Chapitre 8. Synthèse	30

TABLE DES MATIÈRES	4
Conclusion	34
partie 2. Gestion de projet	35
Chapitre 9. Organisation du projet	36
9.1. Organisation de l'équipe	36
9.2. Gestion de projet	36
Bibliographie	39

Liste des symboles

FIFO First In First Out

SCRUM Méthode de gestion de projet Agile

Première partie

Etat de l'art

Introduction

Dans le cadre de notre étude de faisabilité, avec l'entreprise *STMicroelectronics*, nous allons faire un état de l'art et un benchmarking de l'état actuel des méthodes et des études existantes.

Étant donné que notre recherche porte sur un domaine de haute technologie, encore très jeune sur l'échelle industrielle, le retour d'expérience est donc relativement faible. D'autre part il reste beaucoup de challenges à relever. D'ailleurs les objectifs de l'industrie des composants électroniques sont très ambitieux¹.

Ce rapport présente donc nos recherches sur l'état de l'art dans tous les domaines ayant plus ou moins un rapport avec le sujet.

Tout d'abord nous traiterons de la méthode D^3 qui nous permettra d'avoir un algorithme permettant d'optimiser les tests et maximiser les chances de trouver des éléments défectueux.

Ensuite nous étudierons une série d'articles de recherche, sur la fabrication des micro-composants.

Puis nous définirons le jugement d'expert, fortement lié à la méthode *AMDEC*. Après nous détaillerons la prévention des phénomènes dangereux.

Enfin nous élaborerons un tableau comparatif sur des différentes méthodes abordées afin d'identifier les plus pertinentes.

Ce travail servira de socle à notre recherche ultérieure, en effet nous l'adapterons à notre problème en prenant en compte les contraintes.

1. le zéro défaut en est le meilleur exemple

CHAPITRE 1

Methode D^3

1.1. Généralités

Cette algorithme[?] consiste à regarder à la sortie tous les produits (ayant des chemins de productions différentes) et déterminer quels sont les points dans la production qui sont le plus sensible. L'idée est d'observer à la fin les produits finis et de déterminer les opérations à risques par analyse statistique des défauts.

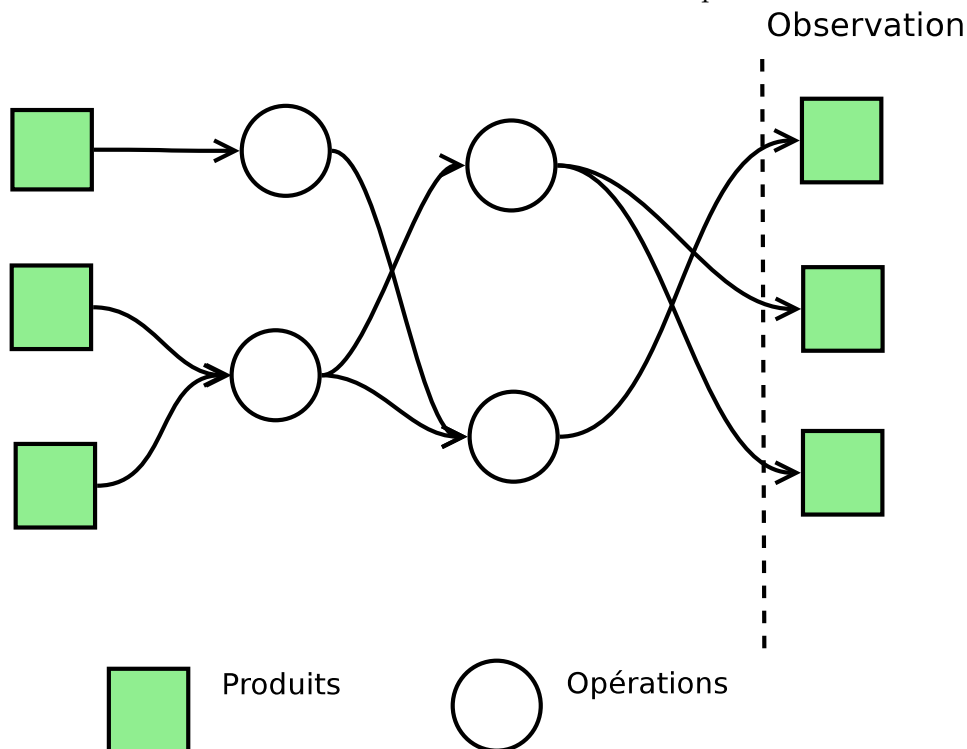
1.2. Objectifs de la méthode

- Objectif minimiser le nombre maximum de test pour identifier les objets défectueux.

1.3. Hypothèse de la méthode

- Il n'y a que 2 état pour le produit *defective* ou *good*.

FIGURE 1.1.1. Schéma de la situation traité par D^3



Les produits issus de la production proviennent de différents chemins l'analyse des produits finis permet de connaître les opérations sensible grâce à la méthode D^3

- Chaque test se fait sur un sous ensemble n objets et n'ont que deux possibilités *positive* ou *negative*.
- Un résultat *positive* indique que l'échantillon (ou sous ensemble) contient au moins un élément *defective*
- Un résultat *negative* indique que l'échantillon est pur et qu'il ne contient que des éléments *good*.
- Deux type de méthodes :
 - Stochastique : les objets ont une probabilité d'être *defective* et le but est de diminuer le nombre de test attendu pour identifier tous les éléments objet *defective*.
 - Déterministe : le nombre d'éléments *defective* est connu à l'avance, l'objectif est de minimiser le nombre maximal de test pour identifier tous les éléments *defective*.
- $M(n, d)$ nombre optimal de test optimal pour identifier les d éléments *defective* quand on connaît le nombre d parmi n éléments.
- $T_A(n, d)$ nombre de test requis par l'algorithme A pour identifier parmi n éléments tous les d *defective* élément quand on connaît d à l'avance.
- Si $d = 0$ l'algorithme effectuera $\log(n)$ tests inutile. Dans ce cas on vérifiera les éléments inconnus.
- Donc A est α -compétitif si pour $0 \leq d \leq n$, $T(n, d) \leq \alpha M(n, d) + \beta$ avec $\alpha = 2,75$ et β une constante et un algorithme de ce genre existe.

1.4. L'algorithme

L'algorithme utilise la stratégie suivante. Il teste des collections disjointes d'item de taille $1, 2, \dots, 2^i$ jusqu'à ce qu'il trouve un élément *defective*.

À cette étape l'algorithme a détecté $1 + 2 + 3 + \dots + 2^{i-1} = 2^i - 1$ bon éléments et a trouvé une collection contaminée de taille 2^i . En utilisant une recherche binaire l'élément peut-être détecté par i tests additionnels.

L'algorithme effectuera $i + 1$ tests, donc pour le prix de $2i + 1$ tests l'algorithme apprend l'état de 2^i objets.

En d'autre mot l'état de a nouveau éléments est connu en effectuant $2 \log a + 1$ tests.

1.5. Algorithme détaillé

Algorithm DOUBLE.

Algorithm 1 Algorithme Double pour tester n objets

```

Algorithm Double
  U:={ 1 ,... ,n}
  D:=0;
  G:=0;
  While |U|>= 3 do
    {x,y,z}:= 3 objets arbitraire de U
    TEST({x,y,z});
    if positive 3-TEST({x,y,z});
    if negative
      U:=U-{x,y,z};
      TEST(U);
      if negative
        G:=G+U;
        U:=0;
      if positive
        k:=4;
        repeat
          C:=k arbitraire de U ou U si k>=|U|;
          TEST(C);
          if positive
            x:=BINARY-TEST(C);
            D:=D+{x};
            U:=U-{x};
            abort-repeat;
          if negative
            k:=2k;
            G:=G+C;
            U:=U-C
        end-repeat
      end-While
    FINAL-TESTS;
  end-algorithm
  
```

Algorithm 2 Procédure 3-TEST

```

Procédure 3-TEST( $\{x, y, z\}$ )
  TEST( $\{x\}$ );
  if positive
     $D := D + \{x\}$ ;
    TEST( $\{y\}$ );
    if positive  $D := D + \{y\}$ ;
    if negative  $G := G + \{y\}$ ;
     $U := U - \{x, y\}$ ;
  if negative
     $G := G + \{x\}$ ;
    TEST( $\{y\}$ );
    if positive
       $D := D + \{y\}$ ;
       $U := U - \{x, y\}$ ;
    if negative
       $D := D + \{z\}$ ;
       $U := U - \{x, z\}$ ;

```

Algorithm 3 Algorithme Double pour tester n objets

```

Procédure BINARY-TEST( $C$ );
   $k := |C|$ ;
  repeat
     $C' := |k/2|$  éléments arbitraire de  $C$ 
    TEST( $C'$ );
    if positive  $C := C'$ ;
    if negative  $C := C - C'$ ;
     $k := |C|$ ;
  until  $k = 1$ ;
   $x :=$  le seul élément de  $C$ ;
  return ( $x$ );
end-procédure;

```

Algorithm 4 Procédure FINAL-TESTS

```

Procédure FINAL-TESTS
  while  $U \neq \emptyset$  do
     $x :=$  un élément arbitraire de  $U$ ;
    TEST( $\{x\}$ );
    if positive  $D := D + \{x\}$ ;
    if negative  $G := G + \{x\}$ ;
     $U := U - \{x\}$ ;
  end-while;
end-procédure;

```

Optimized design of control plans based on risk exposure and resources capabilities

Dans les grandes lignes de fabrication, la plupart des débris importants viennent de la croissance ce qui influence l'incertitude de la santé des produits. Même si le processus est conçu de telle façon qu'il protège le système de fabrication contre des événements pareils, le contrôle d'incertitude est à peine efficace du point de vue opérationnel.

De nombreuses sources de données et des techniques appliquées aujourd'hui sont nécessaires pour maîtriser le processus au niveau de l'Angstrom¹. Ainsi qu'une connexion entre la production et le contrôle de la qualité tourne la gestion de matériels à risque dans des tâches compliquées, sachant que le matériel est lié à la compétitivité des usines il va falloir renforcer l'approche de contrôle de processus.

L'approche standard utilisée pour exprimer le risque dans la fabrication des semi-conducteurs est l'AMDEC², dans la plupart des cas les statistiques et les plans de contrôle sont gérés par la limite de capacité ou par la productivité / temps du cycle, nous l'appellerons la réduction des étapes de la « non valeur ajoutée ».

Le plan de contrôle est chargé dans MES³ par l'échantillonnage des règles qu'il soit défini ou pas dans l'AMDEC. Ces règles sont basées sur :

- La fréquence du processus
- Les événements
- Le produit ou un lot de caractéristiques
- Quelques exceptions

L'approche traditionnelle proposée dans la plupart des MES existants est très limitée, par ailleurs un ensemble d'alternatives a été proposé (dans une conférence de la fabrication avancée des semi-conducteurs « Adaptive Metrology Sampling techniques enabling higher precision in variability detection and control »).

Dans cet article, les limitations traditionnelle que l'approche possède quand nous l'appliquons à une fabrication avancée avec un nombre de produits variés sont passées en revue et discutées et leurs facteurs principaux en liaison sont présentés.

Dans le but de donner une méthode cohérente pour le planning du contrôle de la qualité atteignant ses limitations, l'approche proposée dans la Fig2.0.1 consiste en deux étapes :

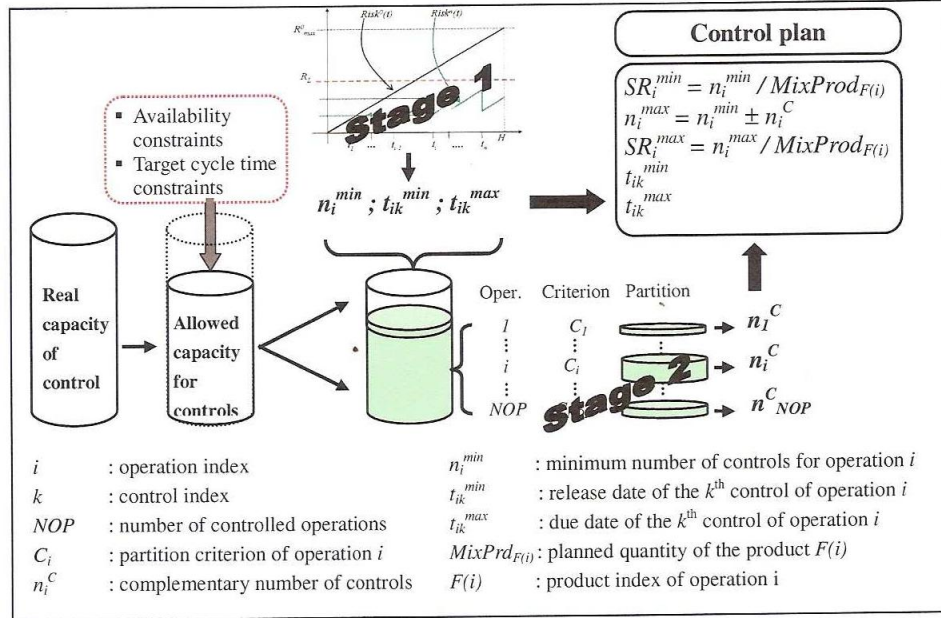
- (1) utiliser une répartition des risques pour définir un plan de contrôle minimal qui assure un certain niveau de risque pendant l'horizon considéré.
- (2) ajuster le plan de contrôle raffiné dans la phase 1 en divisant le reste (ou le manque) de la capacité selon un critère lié au processus et aux

1. 10^{-10} mètre

2. L'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

3. Manufacturing Execution System

FIGURE 2.0.1. Approche proposée



capacités de métrologie. Dans cette phase nous prenons aussi en considération les disponibilités et les contraintes des capacités des ressources de contrôle.

En plus de casser les barrières entre le plan de contrôle et L'AMDEC, nous démontrons que la nouvelle approche du risque permet d'obtenir un plan de contrôle optimisé qui garantit une utilisation justifiée d'inspection disponible ou des capacités de contrôle en limitant l'exposition aux différents risques.

Remarque : Cet article propose une nouvelle méthode pour élaborer un plan de contrôle en se basant sur 2 étapes :

La phase 1: consiste à identifier les risques possibles et de faire une première répartition de risque, dans le but de construire un plan de contrôle par la suite.

La phase 2: consiste à ajuster le plan construit dans la phase 1 en ajoutant ou enlevant des contrôles selon la capacité de contrôle possible.

Pour utiliser cette méthode il faut identifier tous les risques possibles ainsi que la capacité de contrôle.

CHAPITRE 3

L'utilisation du jugement d'expert en sûreté de fonctionnement

L'ouvrage intitulé « Utilisation du jugement d'expert en sûreté de fonctionnement » écrit par *André Lannoy et Henri Procaccia* en 2001 présente différents éléments qui peuvent être intéressants dans le contexte de ce PFE, nous dénoterons une présentation de l'Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticité, méthode communément AMDEC. Nous citerons également des éléments sur l'utilisation des avis d'experts.

3.1. Utilisation de l'avis d'experts

En sûreté de fonctionnement, comme dans d'autres domaines, le jugement d'expert peut être considéré comme une des réponses possibles à un problème technique de retour d'expérience ou d'aide à la décision. Il peut compléter ou suppléer les données objectives, lorsque ces données sont peu nombreuses ou inadaptées. Il est souvent la seule source d'information disponible dans un processus décisionnel. Cet ouvrage, focalisé sur les besoins en fiabilité, montre la démarche à suivre pour prendre en compte l'expertise. Cette démarche est illustrée par plusieurs applications réelles concernant principalement l'estimation de durée de vie, l'optimisation de la maintenance, l'aide à la conception et l'aide à la décision. Les différentes étapes du recueil et du traitement de l'expertise y sont décrites : la sélection des experts, l'élaboration du questionnaire à poser aux experts, l'information préalable de l'expert, l'estimation et l'agrégation des expertises, le traitement statistique de l'expertise.

3.2. AMDEC

AMDEC (l'acronyme d'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) est une démarche déductive qui consiste à identifier au niveau d'un système donné, les modes potentiels de défaillance de ses éléments, leurs causes et leurs effets .

Une fois l'état d'art du système est réalisé nous essaierons d'identifier de manière systématique les modes de défaillance potentiels, ensuite nous identifierons pour chaque mode de défaillance les causes qui l'ont provoqué, nous lui associerons un indice de fréquence qui permet de voir combien de fois nous pourrions apercevoir cette même défaillance autrement dit l'indice de fréquence, ses effets, son indice de gravité (classe de sévérité) , les mesures mises en place pour détecter la défaillance et son indice de détection (classe de probabilité de détection).

3.2.1. Démarche.

La démarche est simple elle est basée sur une analyse complète du système qui nous permettra d'identifier les fonctions offertes par le système ainsi que les contraintes d'utilisation et d'environnement, les paramètres critiques à mettre sous contrôle et sur lesquels les analyses type AMDEC porteront. Ainsi le

périmètre sur lequel l'AMDEC doit être réalisée sera identifié. Les étapes de la démarche sont :

- Décomposition fonctionnelle
- Identification des modes de défaillance
- Classement de chaque mode de défaillance
- Synthèse des résultats
- Identification des méthodes de détection des défaillance et des actions préventives ou correctives

la figure 3.2.1 présente un tableau récapitulatif de toute la démarche.

3.2.2. Objectif de démarche. Maîtriser la démarche AMDEC pour pouvoir :

- Prévoir et réduire les défaillances potentielles et leurs effets
- Améliorer le fonctionnement des processus
- Optimiser la conception

3.2.3. Avantages.

- Evaluer et garantir les 4 propriétés de la sûreté de fonctionnement qui sont :
 - La fiabilité
 - La maintenabilité
 - La disponibilité
 - La sécurité
- Obtenir le coût maximum de rendement globale des équipements de production.
- Réduire les coûts de maintenance préventive ou corrective.

3.2.4. Inconvénient. Elle ne permet pas de prendre en compte la combinaison de plusieurs défaillances en même temps.

PME :	Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leurs criticités									
Système : moto-compresseur	Date:									
Sous-système : compresseur										
L'élément	fonction	Mode de défaillance	cause	effet	détection	Criticité				Action à engager
bâti	Renferme le compresseur	Ovalisation d'alésage portant les roulements	usure	Détériorations des paliers	-Bruit -échauffement	F	G	D	C	-Réalisation des chemises pour les paliers. -changement du bâti
						1	2	2	4	
vilebrequin	Transformer le mouvement de rotation	Usure au niveau des paliers lisses	frottements	Mauvais fonctionnement de compresseur	bruit	1	2	4	8	-changement des paliers lisses -remplacement du vilebrequin
bielle	Transmet le mouvement au piston	-cassure -fissure	-fatigue -mauvaise conception	Pas de mouvement	visuel	1	4	2	8	-Changement de la bielle -nouvelle conception
Les écrous	La fixation de la crosse et la tige	Fissuration de taraudage	-choc -surcharge	Arrêt du compresseur	visuel	1	4	2	8	Changement de l'écrou
Bague racleuse	Assurer l'étanchéité	usure	fatigue	échauffement	Fuite d'huile	1	4	2	8	Changement de la bague
glissière	Guidage de piston	usure	frottement	vibration	bruit	2	2	2	8	-vérifier le système de graissage -changement de la glissière
Crosse de piston	Orienter le mouvement de translation	usure	frottement	vibration	bruit	2	2	2	8	-vérifier le système de graissage
Tige de piston	Assurer le déplacement de piston	-criques -flambage	-corrosion -surcharge	Mauvais fonctionnement	-bruit -échauffement	2	2	3	12	-Remplacement de la tige -traitement de la tige
chemise	-Renfermer le piston -chambre de compression	usure	frottements	Mauvaise compression	-faible débit au refoulement	3	2	2	12	Remplacer la chemise
cylindre	Renfermer le compresseur	déformation	chocs	Mauvais fonctionnement	visuel	1	2	1	2	Changer le cylindre

FIGURE 3.2.1. Tableau récapitulatif de la démarche AMDEC

CHAPITRE 4

Appréciation du risque

4.1. Méthode générale

L'analyse du risque En trois étapes (Cf Fig4.1.1) :

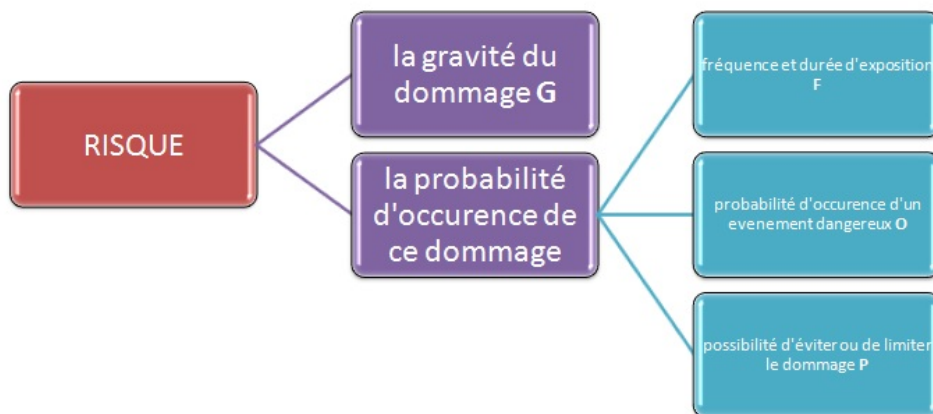
- Détermination des limites de la machine : il faut fixer les signaux de l'appréciation du risque, ensuite il faudra décrire et prendre en compte l'environnement dans lequel est utilisée la machine et les facteurs qui peuvent avoir une influence sur cette dernière.
- Repérage (identification) des phénomènes dangereux Dans notre projet les plaques de silicium une fois exposées à un phénomène dangereux peuvent être affectées et subir des dommages. Le repérage des phénomènes dangereux est une étape longue et demande beaucoup de précision.
- Estimation du risque : L'estimation du risque consiste à comparer entre elles les différentes situations dangereuses constatées. Le risque peut être défini comme une composition entre la gravité du dommage (notée G) subit par la plaque de silicium et la probabilité d'occurrence de ce dommage. L'occurrence d'un dommage est décomposée en 3 parties :
 - (1) La fréquence et la durée d'exposition aux phénomènes dangereux (notée F)
 - (2) La probabilité d'occurrence d'un événement dangereux (notée O)
 - (3) La possibilité d'éviter ou de limiter le dommage (notée P).

4.2. Gravité du dommage (G) :

La gravité du dommage peut être estimée en prenant en compte le taux de rejet de la plaque de silicium. On a deux possibilités :

G1: léger défaut (normalement réversible).

FIGURE 4.1.1. Les éléments du risque



G2: grave défaut (normalement irréversible, y compris la destruction de la plaque).

4.3. Fréquence ou durée d'exposition au phénomène dangereux (F)

L'exposition peut être estimée en prenant en compte :

- le besoin d'accéder à la zone dangereuse ;
- la raison de l'accès ;
- le temps passé dans la zone dangereuse ;
- la fréquence d'accès.

deux choix se présentent :

- F1:** De rare à assez fréquente ou courte durée d'exposition ;
- F2:** De fréquente à continue ou longue durée d'exposition.

4.4. Probabilité d'occurrence de l'événement dangereux (O)

La probabilité d'occurrence d'un événement dangereux peut être estimée en tenant compte :

- des données de fiabilité et d'autres données statistiques
- de l'historique des défaillances
- de l'historique des atteintes des plaques

trois choix proposés :

- O1:** Très faible (de très faible à faible). Technologie stable, éprouvée et reconnue pour les applications de sécurité, robustesse du matériel ;
- O2:** Faible (de faible à moyenne). Événement dangereux lié à une défaillance technique.
- O3:** Élevée (de moyenne à élevée). Événement dangereux entraîné par une action. Principes généraux de gestion du risque

4.5. Possibilité d'évitement du dommage (P)

La possibilité d'évitement permet d'empêcher que le dommage se produise ou de le limiter, en fonction :

- de la rapidité d'apparition de l'événement dangereux ;
- de la conscience de l'existence du phénomène dangereux ;
- de la possibilité d'éviter ou de limiter le dommage

deux choix proposés :

- P1:** Possible dans certaines conditions ;
- P2:** Impossible ou rarement possible.

Pour définir l'indice de risque nous utiliserons un logigramme de risque en combinant les résultats des 4 paramètres définis précédemment.

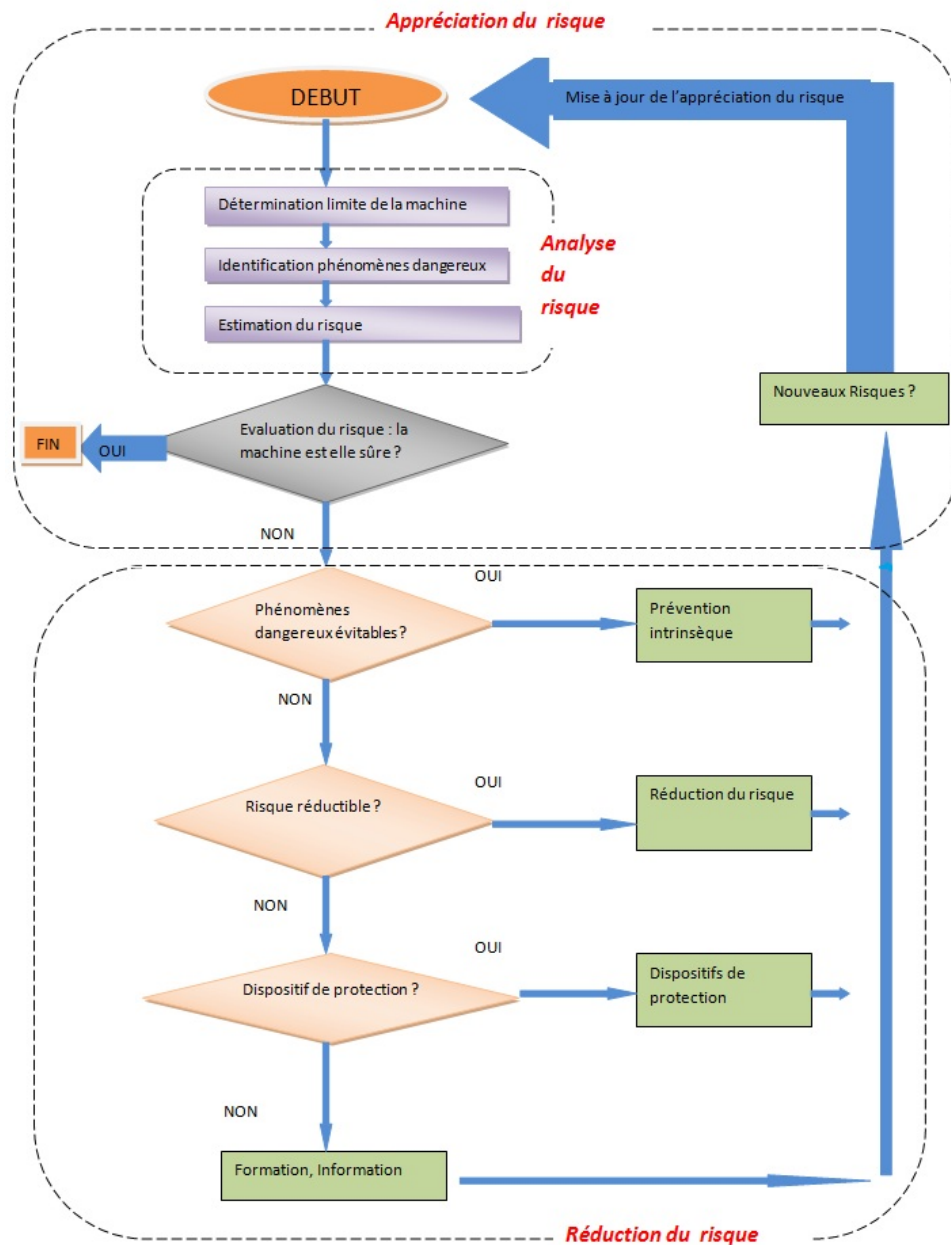
4.6. réduction du risque

Cf Fig4.6.1.

La figure présente la gestion du risque sous deux parties : l'appréciation du risque précédemment développé et la réduction du risque que nous allons expliquer.

4.6.1. Élimination des phénomènes dangereux et réduction du risque : La prévention intrinsèque peut être définie comme l'élimination du phénomène dangereux et le chemin qui mène vers des situations sécuritaires. Par conséquent la qualité des plaques de silicium va dépendre de la machine utilisée et donc tout se joue lors de la conception de cette machine. Les caractéristiques de cette dernière doivent participer à la réduction du risque.

FIGURE 4.6.1. Réduction du risque



4.6.2. Dispositifs de protection : Une fois la prévention intrinsèque mise en place, les dispositifs de protection viennent prendre place dans le processus, par exemple la mise en place de détecteurs de défaillance après chaque machine.

4.6.3. Formation et information : Dans le cas où il y a des phénomènes dangereux persistant ou qui ne peuvent pas être éliminés, une formation sera donnée aux employés sur les différents modes de défaillance mais aussi sur le mode d'utilisation des machines de telles sortes qu'ils puissent détecter quand cette dernière commence à produire des pièces défectueuses.

An approach for operational risk[1]

5.1. Description de la méthode

Cet article présente une méthode d'évaluation des risques opérationnels aidant à la prise de décisions sur les plans de contrôle. La méthode consiste à évaluer l'évolution du risque $R^0(t)$ sur un horizon (durée) considéré (H) sans aucun contrôle. Puis, une valeur ajoutée (en termes de risques) pourrait être évaluée avec un plan de contrôle X (cf. Fig 5.1.1).

Le risque est calculé comme le produit de la probabilité de l'évènement non-désiré (NDE : panne, défaillance, etc) et de la Perte Potentielle (PL) lorsque cet évènement se produit. La Perte Potentielle est ici exprimée par le nombre de produits perdus (puce, plaquette ou le lot). Lorsqu'un évènement non-désiré se produit, la qualité de ses prochaines exécutions (machine) sera alors diminuée jusqu'à son prochain contrôle (le contrôle signifie mesurer et corriger si ce n'est pas "OK"). Dans ce cas, la Perte Potentielle augmentera linéairement avec le nombre d'exécutions.

En l'absence du plan de contrôle, l'évolution de la Perte Potentielle dépend du moment d'apparition de l'évènement non-désiré (cf. Fig 5.1.2).

Lorsque les contrôles (les mesures et les actions correctives en cas de détection) sont prévues, la perte potentielle est différente parce que :

FIGURE 5.1.1. Added value of a control plan

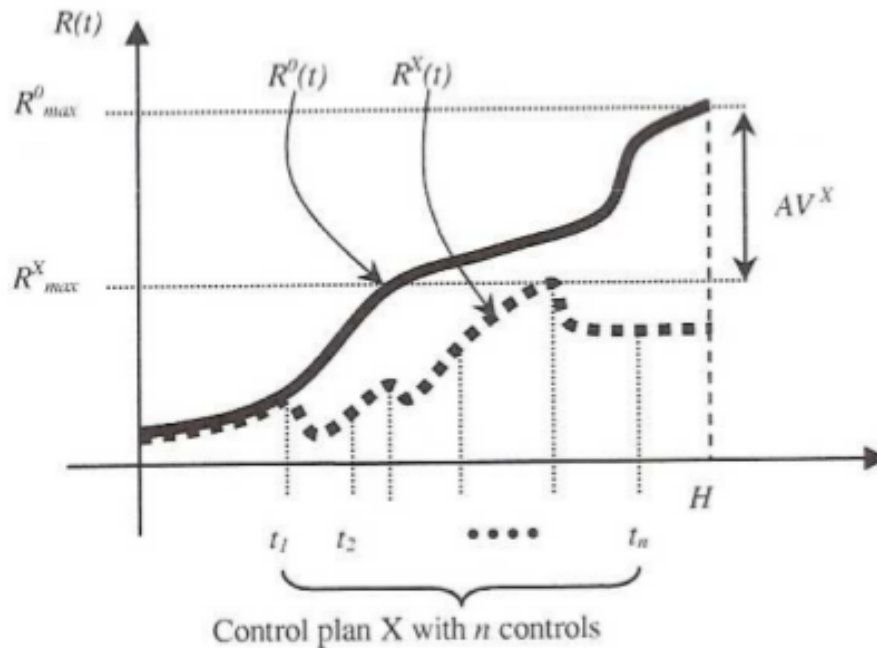


FIGURE 5.1.2. Potential Loss when no control plan

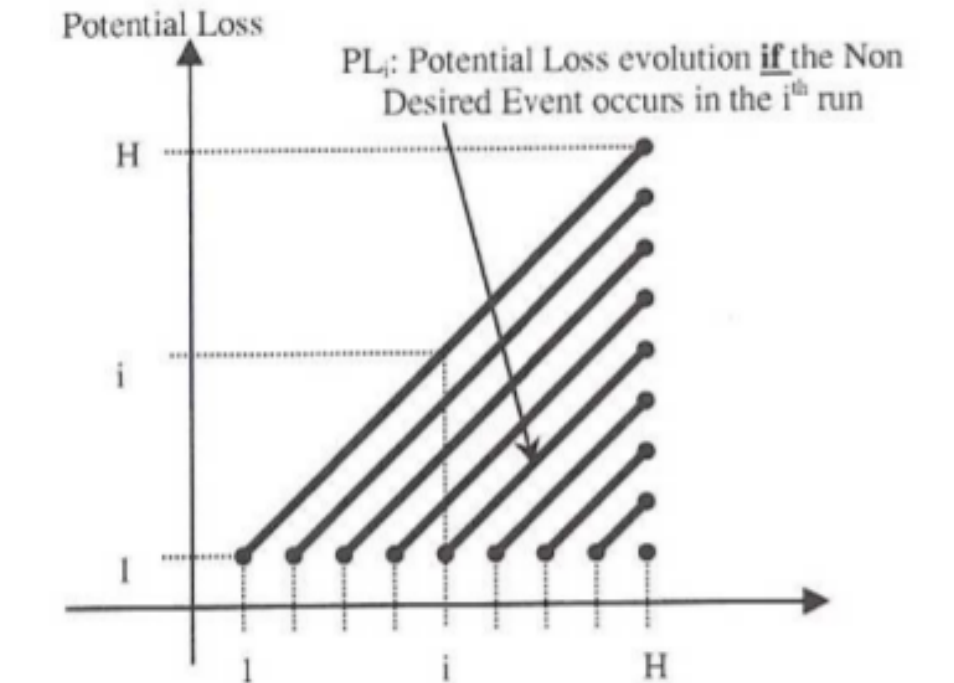
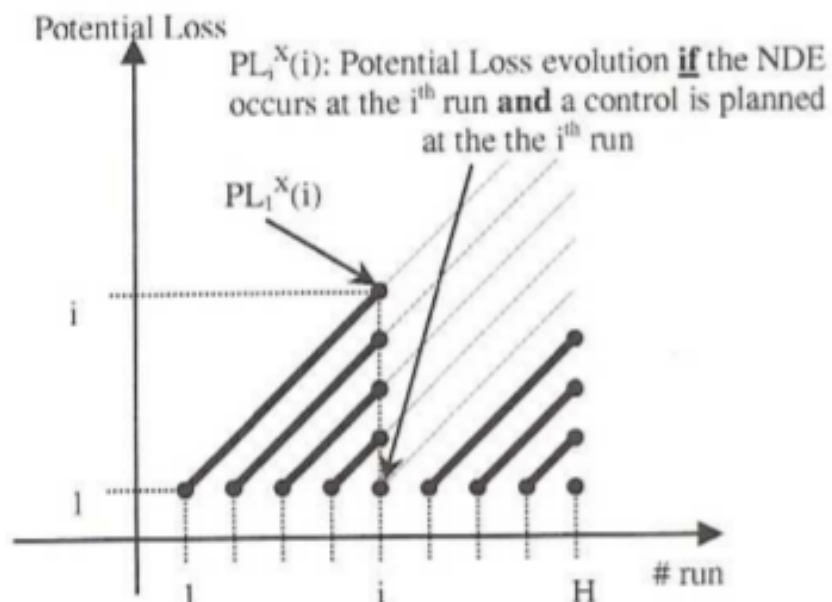
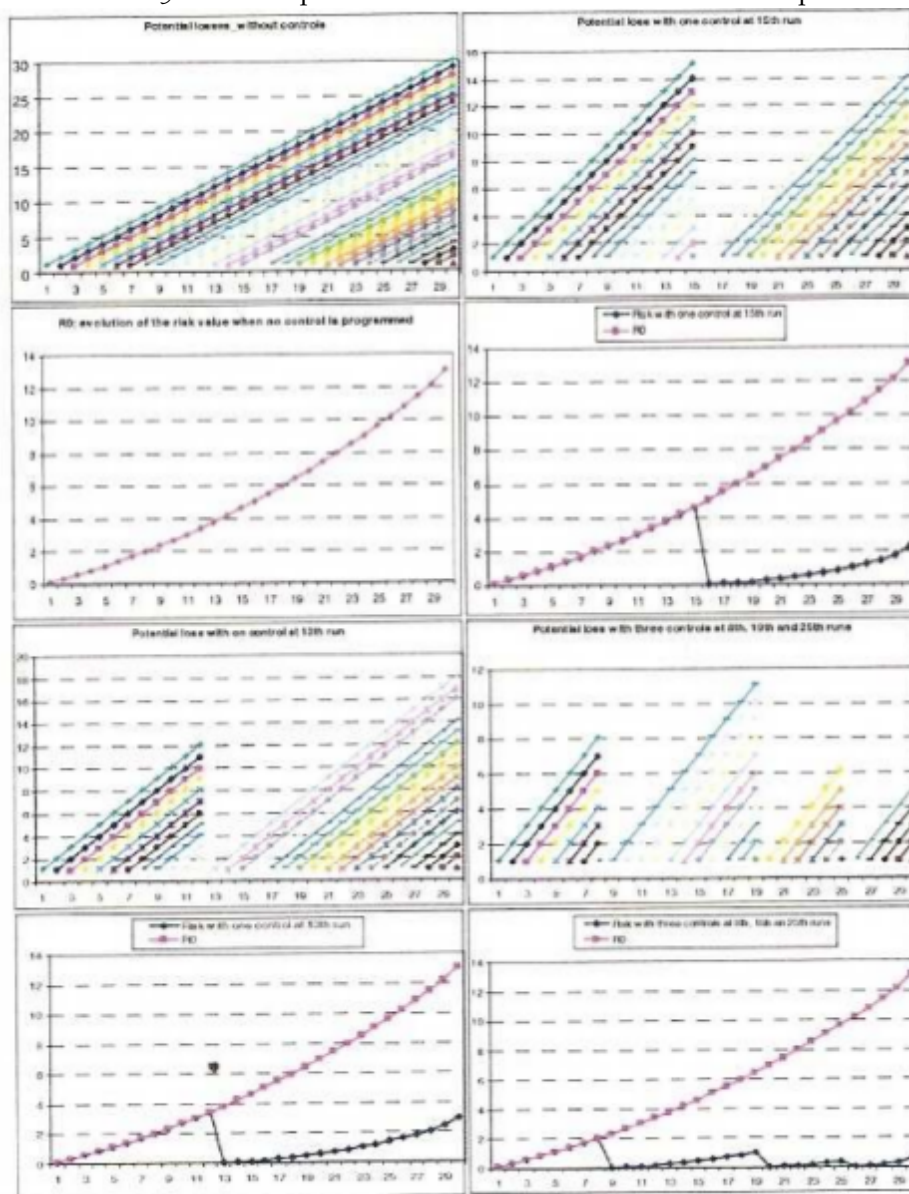


FIGURE 5.1.3. Potential Loss for a control with one control



- Si le résultat de la mesure envisagée est "OK", il n'est pas nécessaire d'envisager la perte potentielle qui correspond à l'occurrence de l'évènement non-désiré précédant la mesure (cf. Fig 5.1.3).

FIGURE 5.2.1. Examples of risk evolution for different control plans



- Si la mesure n'est pas "OK", une action imminente qui va "réinitialiser ou modifier" la probabilité de l'événement non-désiré puis la perte potentielle devient "une perte probable" ou "perte prouvée".

En supposant que la loi de distribution de la probabilité des événements non-désirés sur l'horizon considéré (H) est connue, la fonction de l'évolution du risque avec un plan de contrôle X pourrait être calculé comme suit :

$$R^x(i) = \sum_{j=1}^i (i - j + 1) \cdot PL_j^i(i) \cdot Pr_j$$

5.2. Résultats

L'évolution du risque dépend des plans de contrôle, en fonction de leurs nombre de contrôles ainsi que de leurs répartitions sur l'horizon (cf. Fig 5.2.1) :

L'objectif futur de cette approche consiste à optimiser les plans de contrôle en fonction des exigences de l'entreprise.

5.3. Remarques

Cette approche nous semble déjà être mise en place chez STMicroelectronics mais cette dernière ne permet pas de satisfaire les exigences de l'industriel. Les plans de contrôle (tâche de qualité) exigent à chaque fois un temps d'improductivité, or d'après l'étude plus il y aura de contrôle plus le risque est réduit, donc cette approche est industriellement non faisable.

Optimizing return on inspection[3]

6.1. Introduction

Avec la croissance de la complexité et du besoin de la réactivité des processus, la méthode d'échantillonnage est devenue limitée face aux exigences. Pour combler le défaut de cette méthode, nous avons remarqué que le contrôle de certains échantillons peut être évité sans perte d'information notable sur la série de produits. Un algorithme a été développé pour identifier et contrôler ce critère sur les produits inspectés inutilement.

6.2. Description de l'algorithme

Sur un cas simple, nous considérons qu'un contrôle de la contamination d'une machine de fabrication T (outil de gravure). Le risque de contamination, D , augmente avec le nombre de plaques produites. Si le contrôle est marqué comme "valide", l'outil de traitement et tous les produits traités entre le dernier contrôle "valide" et l'actuel sont validés. Sinon, les actions sont déclenchées sur la machine T et la liste des lots potentiellement "non-valide". Les différents retards entre l'outil et le dispositif de contrôle de processus suivent une loi stochastique comme l'illustre la figure 6.2.1. Dans l'étude de cas, l'analyse des données historiques révèle que ce temps d'attente suit une loi gamma.

Le dynamisme du processus est illustré sur la figure 6.2.2 : lot P1 est traité en premier et contrôlé en quatrième en raison du tampon. Certains lots peuvent être contrôlés avant d'autres qui ont été traités plus tôt. Toutefois, le risque de contamination est un phénomène croissant et monotone, nous supposons que si le lot P4 a été validé alors le lot P1 l'est également et il n'est pas nécessaire de le contrôler.

La décision de maintenir ou de ignorer l'inspection d'un lot de produits est basée sur la valeur de sa réduction des risques. Cet indicateur est susceptible de changer à chaque fois qu'un autre lot est inspecté. La figure 6.2.2 illustre cette évolution. Cet indicateur est ensuite utilisé pour trier la pile de lots à inspecter, à

FIGURE 6.2.1. The production system

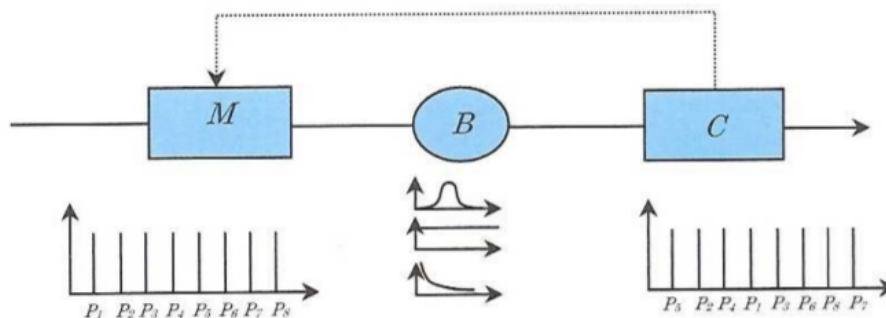


FIGURE 6.2.2. Risk reduction variation

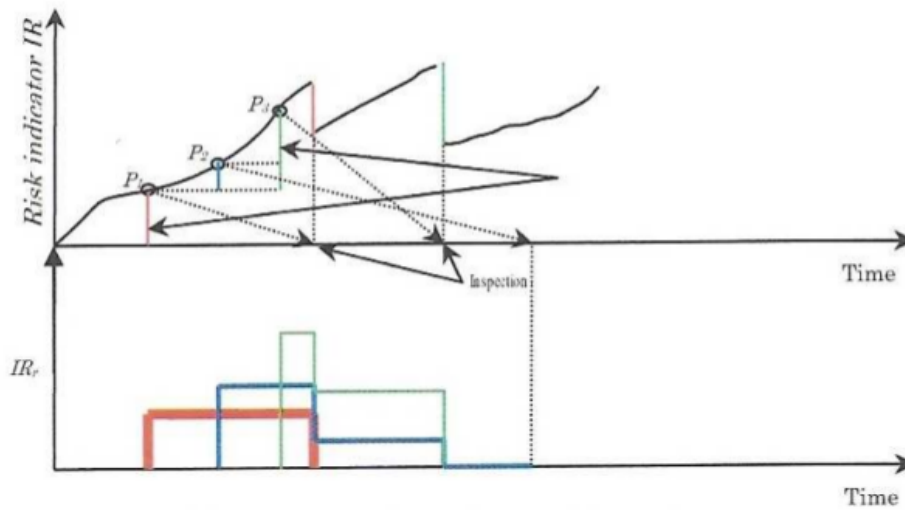
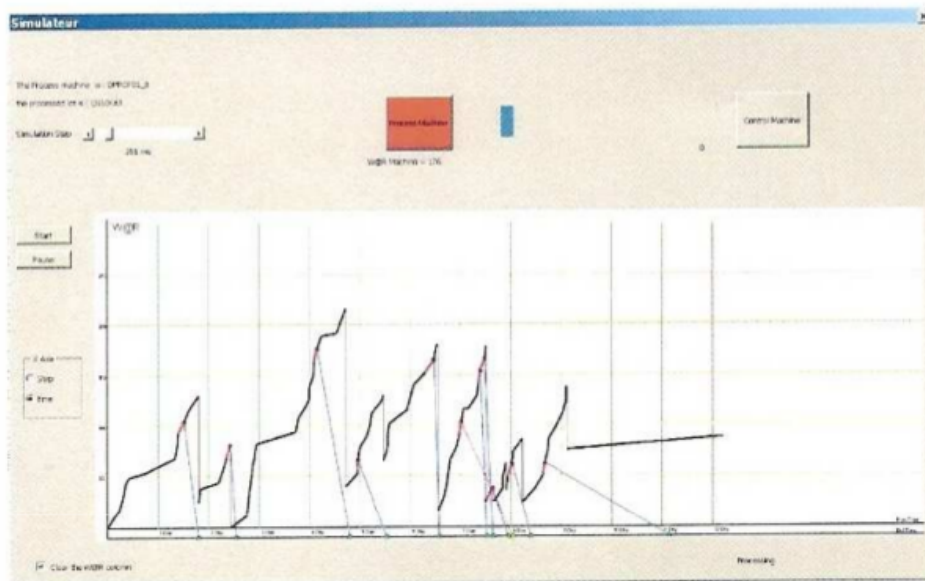


FIGURE 6.2.3. Wafer-At-Risk prototype

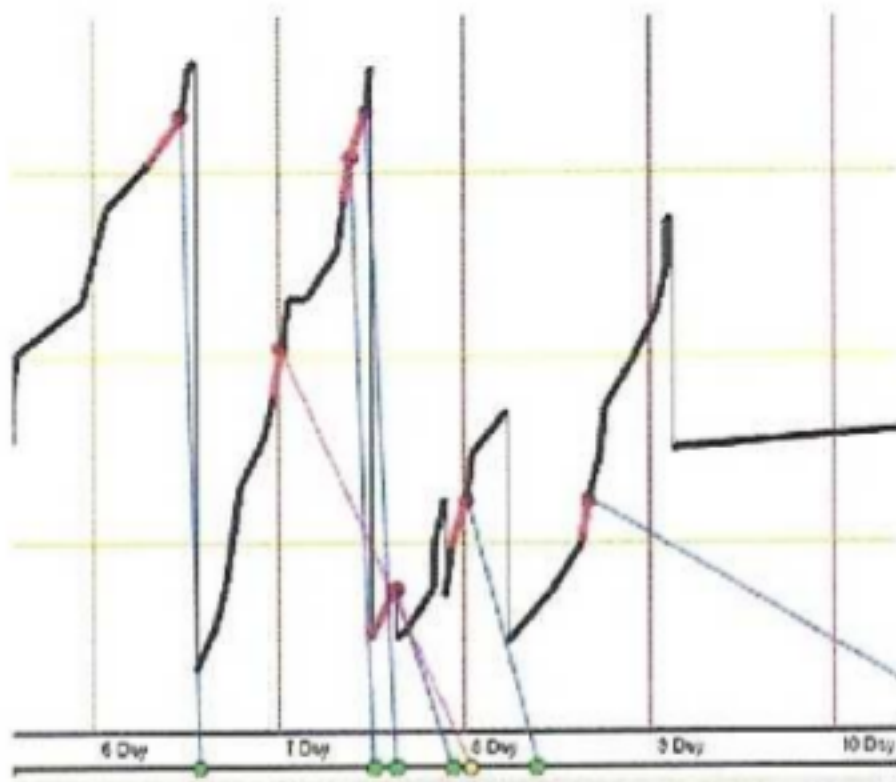


partir des lots qui induisent les plus fortes réductions de risque, l'inspection de ces lots peut être alors ignorée.

Un démonstrateur a été construit pour évaluer l'évolution du Wafer-At-Risk basée sur des données historiques (cf. Fig 6.2.3).

Un cas "ignoré" est illustré à la figure 6.2.4. Un prototype en temps quasi-réel (en exécution toutes les 30 minutes) a été mis en œuvre afin d'aider l'opérateur à sélectionner les lots qui seront inspectés permettant de réduire l'évolution des risques.

FIGURE 6.2.4. Zoom on case of skip



6.3. Resultats

L'algorithme a été exécuté sur plus de trois mois de production. On a observé que plus de 35% des plaques inspectées peuvent être ignorées, parce qu'elles n'apportaient aucune information supplémentaire.

6.4. Remarques

Cet algorithme est intéressant mais il n'est pas suffisant pour notre problème. Ceci dit, il pourra être implémenté en complément avec une autre solution plus appropriée à notre cas d'étude.

CHAPITRE 7

Computation of wafer at risk[4]

7.1. Introduction

La fabrication de semi-conducteurs devient de plus en plus complexe et le contrôle exhaustif des plaques n'est pas réalisable d'un point de vue financier. La méthode d'échantillonnage se révélait limitée et insuffisante par rapport aux exigences. L'objectif de cette étude consiste donc à évaluer le risque et optimiser l'utilisation des équipements de contrôle.

L'évaluation des risques de chaque outil est caractérisée par le Wafer-At-Risk. L'information apportée par chaque lot, qui peut être inspecté, est appelée Wafer-At-Risk-Reduction. Ces deux informations ne sont pas exploitables directement, d'où la nécessité de développer un algorithme pour les calculer.

7.2. Description de l'algorithme

La première étape consiste à identifier les lots qui ont été effectivement inspectés. La première difficulté est d'identifier le Defectivity Work Requests (DWR). DWR sont des demandes spéciales issues de l'ingénierie qui met le lot en attente pour une inspection en défektivité plus approfondie. Les archives des mesures sont utilisées et combinées avec les données des processus pour identifier et marquer tous les lots inspectés (cf. Fig 7.2.1).

Après cela, la valeur du Wafer-At-Risk est calculée pour chaque outil du processus. Cette valeur est augmentée avec la quantité des lots de plaques à chaque événement du processus. Cette valeur est diminuée grâce au Wafer-At-Risk-Reduction quand le lot est inspecté. En vue de la quantité de données et la complexité des relations à prendre en compte, l'horizon de traitement a été réduit à une semaine. Afin de faire correspondre les données entre les semaines successives, les conditions aux limites ont été définies, qui se composaient de la liste des lots ayant été traitées après le dernier lot inspecté (cf. Fig 7.2.2).

FIGURE 7.2.1. Flag algorithm

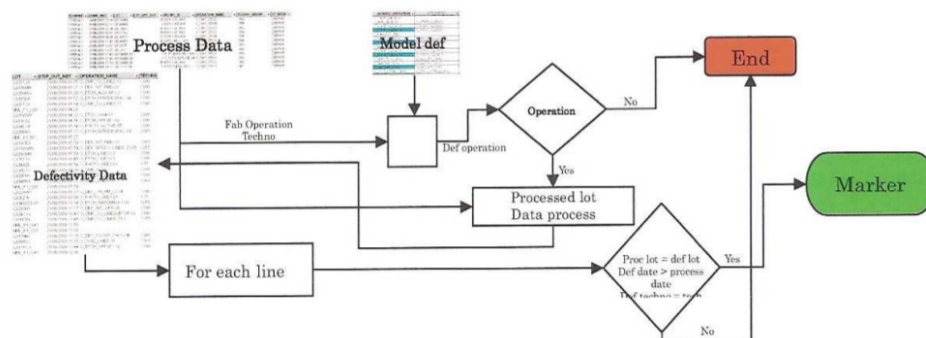


FIGURE 7.2.2. Boundary conditions

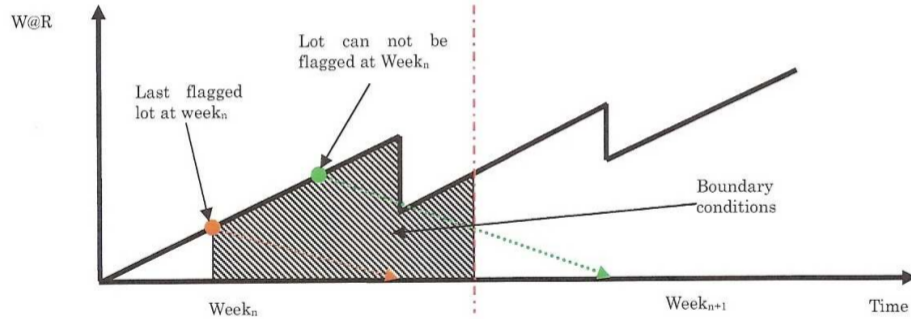
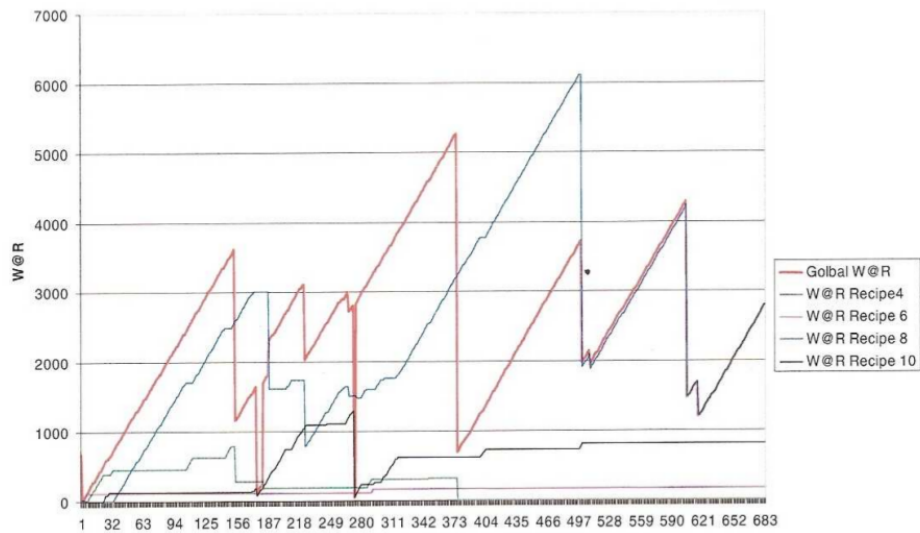


FIGURE 7.2.3. Global W@R and W@R by recipe



Une autre amélioration de l'algorithme a été la définition du Wafer-At-Risk par la recette, du type de recette ou de la technologie ou du module d'outils. Le modèle de contrôle de défektivité devait être affiné pour tenir compte de ces paramètres et l'algorithme a ensuite été ajusté pour calculer les différents types de Wafer-At-Risk : globale and recette ou dépendant du contexte (cf. Fig 7.2.3).

7.3. Résultats

Les résultats obtenus ont été couplés avec un autre algorithme permettant de réduire jusqu'à 35% des inspections inutiles. Un contrôle peut être évité si le Wafer-At-Risk-Reduction du lot marqué est inférieur ou égal à zéro.

De plus l'algorithme a été amélioré pour être plus réactif sur la ligne de production, son implémentation peut être ramenée à une période de 30 minutes.

7.4. Remarques

Les détails de cette approche ne sont pas suffisants pour conclure sur sa faisabilité pour notre cas d'étude. Comment peut-on s'en passer de l'historique afin de faire du quasi temps réel? Le résultat semble être pertinent que pour

certaine recette spécifique. Supposons que cet algorithme est applicable, cette méthode pourrait donc être l'une des solutions de notre problème.

CHAPITRE 8

Synthèse

Afin de faciliter notre étude nous proposons ce tableau récapitulatif (Tab 8.0.2, Tab 8.0.1 Tab 8.0.3). Les critères détaillés sont encore à l'étude.

TABLE 8.0.1. Tableau récapitulatif

Type	Sujet	Description	Avantages	Inconvénients	Décisions
Une démarche Qualitative et Quantitative	Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité	<ul style="list-style-type: none"> - Décomposition fonctionnelle - Identification des modes de défaillances - Classement de chaque mode de défaillance - Synthèse des résultats sous forme de résultat - Identification des méthodes de détection des défaillances et des actions préventives ou correctives 	<p>Evaluer et garantir :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La fiabilité - La maintenabilité - La disponibilité - La sécurité - Obtenir au meilleur coût le rendement globale Maximum les équipements de production 	<p>Ne permet pas en générale de prendre en compte les combinaisons de plusieurs défaillances</p>	<p>Peut être utilisé pour détecter les défaillances au niveau des machines de production</p>
Gestion du risque	Prévention des phénomènes dangereux	<ul style="list-style-type: none"> - Appréciation du risque - Réduction du risque 	<ul style="list-style-type: none"> - Démarche en-tière - Action en amont et pour l'aval - Action en aval pour gérer et corriger le risque 	<ul style="list-style-type: none"> - Longue demande - une con-naisance parfaite des machines 	<ul style="list-style-type: none"> - Peut être intéressante sur une longue période. - Rejetée

TABLE 8.0.2. Tableau récapitulatif

Type	Sujet	Description	Avantages	Inconvénients	Décisions
D^3	Analyse systématiques d'ensemble de produits	Cette méthode algorithmique permet de repérer les éléments défectueux en optimisant le nombre de test	<ul style="list-style-type: none"> – Programmable – Correspond au sujet 	<ul style="list-style-type: none"> – Beaucoup de test – Trop systématique – Pas de probabilité 	À utiliser
Plan de contrôle optimisé en se basant sur le risque	Conception optimisée de plans de contrôle en fonction des risques et des capacités des ressources	Cet article propose une nouvelle méthode pour élaborer un plan de contrôle en se basant sur 2 étapes : 1. consiste à identifier les risques possibles et de faire une première répartition de risque, dans le but de construire un plan de contrôle après.2. consiste à ajuster le plan construit dans la phase 1 en ajoutant ou enlevant des contrôles selon la capacité de contrôle possible.	<ul style="list-style-type: none"> • Avoir un plan de contrôle de la qualité optimisé • Prendre en compte les contraintes de capacités des ressources de contrôle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Définir au préalable tous les types de risque • Définir la capacité des ressources de contrôle 	Sans décisions

TABLE 8.o.3. Tableau récapitulatif

	Type	Description	Avantages	Inconvénients	Décision
An Approach for Operational Risk Evaluation and its Link to Control Plan	Article scientifique	L'idée consiste à évaluer les risques du processus (machines). A chaque traitement la fiabilité du processus diminue (usure de la machine) jusqu'à la tâche de qualité (maintenance)	Pouvant réduire fortement le risque du processus	La réduction du risque est proportionnelle au nombre du plan de contrôle	Industriellement non faisable à cause de l'improductivité lors des plans de contrôle
Optimizing Return on Inspection Trough Defectivity Smart Sampling	Article scientifique	C'est une méthode d'échantillonnage « intelligente » qui permet d'identifier seulement les produits (échantillons) à contrôler sans perte d'information	Réduire jusqu'à 35% le nombre de contrôle (non nécessaire)		Résultats insuffisants par rapport aux exigences industrielles
Computation of Wafer-At-Risk from Theory to Real Life Demonstration	Article scientifique	C'est une méthode d'évaluation des risques et d'optimisation de l'utilisation des équipements de contrôle en introduisant les indicateurs suivants : W@R et W@R-Réduction	- Réduire fortement le risque - Quasi temps réel	- Complexité - Méthode mystérieuse - Faisabilité	Malgrès le fait que les résultats semblent prometteurs, on ne peut pas valider sur sa faisabilité et son utilisation

Conclusion

A l'issue de cette recherche sur l'état de l'art, dont les sources d'information ont été très limitées, nous avons retenu que les deux approches suivantes :

- « D^3 », est une méthode algorithmique programmable permettant de repérer les éléments défectueux tout en optimisant le nombre de test. D'un point de vue théorique cette méthode répond parfaitement aux exigences industrielles mais nous restons réticents sur la façon dont nous allons l'adapter à notre problème mais aussi sur sa fiabilité de prendre de plus en plus de risque (augmentation de la taille des échantillons).
- « Wafer@Risk », c'est une approche très prometteuse permettant d'évaluer et de réduire les risques en introduisant les indicateurs de risque suivants : « Wafer@Risk » et « Wafer@Risk-Reduction ». Cependant cette approche nous semble trop ambitieuse pour être appliquée à notre problème industriel. Les résultats présentés, très optimistes, sont issus de la combinaison de diverses méthodes et de recettes dont nous n'avons pas connaissance.

Lors de notre dernière réunion avec l'industriel, face à nos réticences pour l'état de l'art, nous avons suggéré notre propre approche du problème : « algorithme du marcheur dans la ville ». Cette approche constitue d'abord une analogie du processus de fabrication à un marcheur dans la ville. Ensuite un algorithme permettant d'évaluer et de réduire les dangers du marcheur qui est l'analogie des risques de production des plaques. Notre solution a été retenue comme une piste envisageable et mérite d'être approfondie en vue de l'état de l'art.

Les perspectives de notre étude consistent dans un premier temps à réévaluer l'applicabilité de la méthode « Wafer@Risk » avec la nouvelle documentation fournie par l'industriel. Ensuite, avec un jeu de donnée, nous allons tenter d'appliquer et de tester la méthode algorithmique du « D^3 » et du « marcheur dans la ville ».

Deuxième partie

Gestion de projet

CHAPITRE 9

Organisation du projet

9.1. Organisation de l'équipe

Après notre première réunion, nous avons décidé de nous répartir les responsabilités en fonctions des centres d'intérêts de chacun. Nous avons répartis les responsabilités en fonction du sujet de PFE lui même.

Nakara Rahma: Chef d'équipe, son rôle se rapproche de celui du *coach* dans une équipe, il fait en sorte de tirer le meilleur de chacun. Il est aussi celui qui tranche les problèmes épineux.

Garcia Fabien: Responsable de communication, il interface l'équipe et les intervenants extérieurs.

Amrani-Mesbahi Jaafar: Gestion de Projet & Document, il met en place la méthode SCRUM et gère le système d'information propre à l'équipe.

Ait Belkacem Abdelali: Responsable développement, dans le cadre du PFE, une réflexion sur des développements informatique sera mené. Il aura pour mission de manager cette partie du projet.

Nguyen Philipe: Responsable Réunion, il est optimise notre temps de travail et améliorer notre efficacité. Son rôle est de contrôler le bon déroulement de tous les meeting entre équipe.

9.2. Gestion de projet

9.2.1. Choix de la méthode agile. Après une explication détaillée du sujet par notre client. Il est apparu que la gestion de projet collant au mieux au sujet du PFE est la méthode agile cf Chap???. En effet le projet pourra subir de nombreuses modifications en fonction de l'avancement.

Plutôt que de subir ces modifications avec une gestion de projet traditionnelle, nous préférons en prendre notre part et l'intégrer dans notre gestion de projet.

En effet la méthode agile est une méthode de suivi de projet héritée des développements informatiques.

9.2.2. Caractéristiques de la méthode agile. Notre équipe fonctionne sur le modèle de la gestion de projet "Agile". La méthode agile retenue est la méthode SCRUM. Ces caractéristiques principales sont :

Simplicité: La gestion de projet a été simplifiée au maximum pour n'en garder que la quintessence.

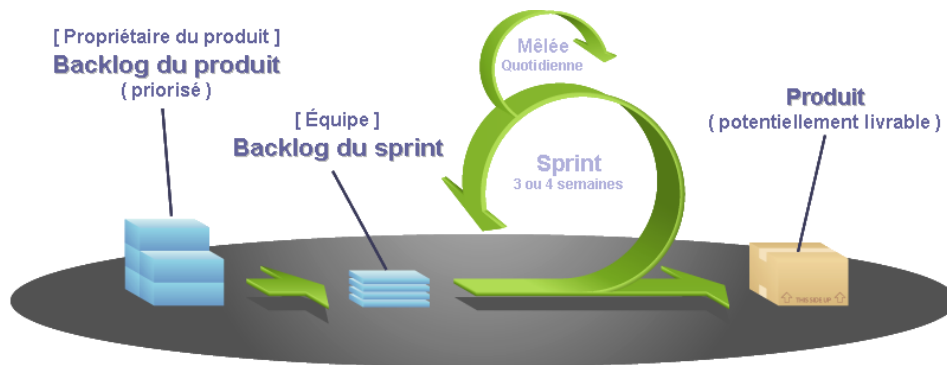
Flexibilité: Cette flexibilité est obtenue par une forte implication du client. Le client peut faire des modifications sur ses besoins mais pas à n'importe quel moment. Uniquement entre deux itérations. Cela permet de mieux répondre aux besoins du client.

Auto-gestion: Basée sur la confiance mutuelle entre les membres de l'équipe ainsi qu'avec le client. Motivation de l'équipe.

Application: Satisfaction du client en lui livrant quelque chose de fonctionnel.

Nous pouvons visualiser l'ensemble de cette méthode par le schéma (Réf : 9.2.1)

FIGURE 9.2.1. Structure Globale de la méthode SCRUM



Source : Wikipedia.

9.2.3. Product back log. Après une première interprétation du sujet nous avons retenue différentes grandes tâches. Ces tâches seront détaillées d'avantage en fonction de la compréhension du sujet et de l'avancement du projet. Cette liste de tâche sera notre matière première pour constituer nos *Sprint*.

- introduction de la méthode AGILE
 - Mise en place de la méthode AGILE au sein de l'équipe
 - Installation des différents outils
- Travail bibliographique
 - Consultation des différentes publications sur le sujet
- Benchmarking
 - Visions des pratiques des autres industries
 - Transposition des « Bonnes pratiques » au sein de ST Microelectronics
- Proposition d'algorithme ou heuristique
- Tests des différentes solutions

9.2.4. Première itération. La première itération de notre équipe comprends la mise en place de la méthode SCRUM et la rédaction du rapport préliminaire, l'échéance étant le 01/10/2010 pour la remise du rapport, nous avons aussi une remise à notre tuteur avant le 27/09/2010.

Nous avons ensuite découpé le travail de la manière suivante :

- GARCIA Fabien → Rédaction de la partie méthode agile
- NAKARA Rahma & AMRANI-MESBAHI Jaafar → Rédaction de la présentation de l'entreprise, introduction et conclusion
- AIT BELKACEM Abdelali & NGUYEN Philippe → Rédaction de la partie compréhension du sujet et détails
- AMRANI-MESBAHI Jaafar → Mise en place de la méthode SCRUM
- GARCIA Fabien → Mise en place système d'information et outils collaboratifs (SVN)

Au terme de cette itération un premier rapport préliminaire sera livré à notre tuteur et notre client. De plus les outils de gestion agile seront mis en place au sein de l'équipe.

9.2.5. Deuxième itération. La deuxième itération est une partie plus orientée recherche bibliographique et Benchmarking

- GARCIA Fabien → Recherche et travail sur la méthode D^3
- NAKARA Rahma → Recherche des méthodes existantes susceptibles d'être utilisées dans notre projet de fin d'étude.
- NAIT BELKACEM Abdelali → Analyse et étude de faisabilité des méthodes abordées dans les articles fournis par ST.
- NGUYEN Philipe → Analyse et étude de faisabilité des méthodes abordées dans les articles fournis par ST.
- AMRANI-MESBAHI Jaafar → Etude du livre « L'utilisation du jugement d'expert en sûreté de fonctionnement », d'André Lannoy et Henri Procaccia.

Remarque :

Nous avons essayé de faire un modèle de simulation afin d'avoir une représentation visuelle de l'enchaînement des produits dans l'atelier.

Bibliographie

- [1] Belgacem Bettayeb, Philippe Viallette, Samuel Bassetto, and Michel Tollenaere. *An approach for operational risk evaluation and its link to control plan*. PhD thesis, G-SCOP laboratory, 2010. ([document](#)), 5
- [2] D.Z. Du and F.K Hwang. *Discrete Applied Math*, chapter Competitive Group Testing. AT&T Bell Laboratories Technical Memorandum, December 1990. 1.3
- [3] Mhamed Sahanoun, NouvelAuteur2%, NouvelAuteur3%, Soidri Bastoini, and Michel Tollenaere. *Optimizing Return on inspection trough defectivity smart sampling*. PhD thesis, INP Grenoble, G-SCOP, 2010. ([document](#)), 6
- [4] Mhamed Sahanoun, Philippe Viallette, Samuel Bassetto, Soidri Bastoini, and Michel Tollenaere. *Computation of wafer-At-Risk from theory to real life demonstration*. PhD thesis, INP Grenoble, G-SCOP, 2010. ([document](#)), 7

