Plan de surveillance basé sur l'exposition aux risques et les aptitudes des ressources

Belgacem Bettayeb, Michel Tollenaere, Samuel Bassetto

▶ **To cite this version:**

Belgacem Bettayeb, Michel Tollenaere, Samuel Bassetto. Plan de surveillance basé sur l'exposition aux risques et les aptitudes des ressources. 4èmes Journées Doctorales / Journées Nationales MACS (JD-JN-MACS'11), Jun 2011, Marseille, France. 6 p. hal-00677080

HAL Id: hal-00677080
https://hal.science/hal-00677080

Submitted on 7 Mar 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

JD MACS 2011

Plan de surveillance basé sur l'exposition aux risques et les aptitudes des ressources

BELGACEM BETTAYEB[1], MICHEL TOLLENAERE[1], SAMUEL BASSETTO[2]

[1]Laboratoire G-SCOP, Grenoble-INP, Université de Grenoble
46, avenue Félix Viallet, 38000 Grenoble, France
[2]Ecole Polytechnique de Montréal, Département de mathématique et Génie Industriel
C.P. 6079, succ. Centre-ville, Montréal, Québec, Canada H3C3A7
{belgacem.bettayeb, michel.tollenaere}@ grenoble-inp.fr, samuel.bassetto@polymtl.ca

***Résumé* — Cet article propose une méthode heuristique pour la conception de plans de surveillance des processus industriels qui vise à surmonter les limitations des approches classiques ; celles ci touchent leurs limites une fois appliquées à des systèmes de production de haut volume et de grande diversité de produits. L'approche proposée se compose de deux étapes et prend en considération l'exposition aux risques, exprimée en termes de quantité de produits potentiellement perdus, et les aptitudes des ressources (outils de processus et outils de contrôle).**

***Mots clés* — Plan de surveillance, maitrise de l'exposition aux risques, aptitudes, capacités, optimisation.**

I. INTRODUCTION

La maîtrise de la variabilité des procédés industriels est un élément clé pour une production industrielle pérenne [1]. Pour ce faire, des mesures obtenues grâce à des contrôles définis dans un plan de surveillance, sont nécessaires pour détecter les variations anormales et entreprendre les actions nécessaires pour éliminer leurs causes. D'autre part, les coûts très élevés des équipements pressent à maximiser leur disponibilité et à réduire les temps de cycle de fabrication. En effet, augmenter les contrôles a un effet négatif sur les critères de productivité des équipements, bien que les contrôles permettent de détecter rapidement une éventuelle dérive et ainsi de limiter les pertes. Il y a donc un équilibre à trouver entre deux besoins contradictoires : les contrôles et la productivité. De plus, les outils de contrôle présentent des contraintes de capacité et d'aptitude qui sont aussi à prendre en compte.

Dans les lignes de fabrication en fort volume, des pertes importantes de produits sont souvent le résultat de la croissance non contrôlé d'une "bulle d'incertitude" sur la qualité des produits. Bien que le service « process control » soit censé protéger le système de fabrication contre les événements précurseurs de telles pertes, la surveillance de l'incertitude sur la qualité des produits est à peine efficace d'un point de vue opérationnel.

En effet, de nombreuses sources de mesures et les techniques adéquates de traitement sont nécessaires pour maîtriser les risques liés à des processus de plus en plus complexes et sensibles aux variations des conditions opératoires. Cependant, l'interaction entre la production et le contrôle de qualité transforme la gestion des risques en une tâche compliquée et souvent lourde. Comme la compétitivité de l'usine est directement liée au risque de perte de produits, l'approche traditionnelle de maitrise de processus doit être renforcée [2].

Tout au long du processus de fabrication, on trouve plusieurs étapes de contrôle de conformité des produits. Ces étapes forment des couches de protection (appelées aussi couches de contrôle [3], [4]) contre des événements opérationnels non désirés comme les non-conformités, les alarmes ou les pertes de rendement. La complexité des processus, la nécessité d'une remontée rapide de cadence et le coût des rejets des produits non conformes sont des éléments qui pressent les organisations de contrôle de procédés à renforcer la robustesse de fabrication.

L'intégration de nouvelles méthodes et dispositifs de contrôle est souvent la réponse proposée par ces structures. Cet effort est exécuté à chaque niveau du système de fabrication :

- au niveau de l'outil de fabrication : alarmes sur les outils, la détection et la classification de défauts, e-maintenance, etc.
- au niveau de processus : boucles de régulation par action rétroactive et/ou anticipative, cartes de contrôle, etc.
- au niveau des produits : inspections visuelles, tests paramétriques, tests de fiabilité, contrôles finaux de réception, etc.
- au niveau d'organisation : analyses préliminaires et probabilistes de risques – AMDEC (Analyse de Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité), analyses de fiabilité, gestion de changement de risque, audits de qualité, groupes de travail d'amélioration continue et équipes de résolution des problèmes (comme 8D).

Pour chaque couche de protection, plusieurs méthodes de conception peuvent être utilisées (économique, robuste, stochastique, …). Cependant, chaque couche peut présenter localement plusieurs lacunes ou brèches. Par exemple, l'expertise des personnes impliquées dans les AMDEC ou dans les équipes de résolution des problèmes, l'adéquation des modèles utilisés (pour les mesures et les dispositifs de rétroaction) et les modèles d'échantillonnage en MSP (Maitrise Statistique des Procédés) influencent la qualité et l'efficacité des contrôles.

Afin de faire face aux brèches locales, les contrôles sont souvent redondants. Cependant, comme toutes ces protections sont souvent conçues indépendamment et par des organisations distinctes (qualité, ingénierie de procédés,

technologie d'équipement, intégration…), il n'y a aucune vue d'ensemble sur la manière avec laquelle les risques et les défaillances potentielles sont maîtrisés réellement et par quelle couche [5]. Il peut se produire une combinaison de brèches à l'intérieur de ces couches de protection qui peut engendrer, dans certains cas, la non détection d'événements majeurs et la perte de milliers de produits [6].

Le but de cet article est de proposer une approche globale qui permette de faire face aux brèches globales en utilisant une approche basée sur la maîtrise de l'incertitude sur la qualité des produits en cours de fabrication. Cette incertitude qui dépend fortement des quantités à produire, couplée avec l'évaluation de la probabilité d'événements non désirés, permet de définir une fonction de risque à minimiser pour concevoir un plan de surveillance adéquat.

Le reste du papier est organisé comme suit. Dans la section II, l'approche proposée est présentée en détaillant les hypothèses du modèle et les étapes de l'algorithme. Ensuite, les expérimentations de la méthode et la discussion des résultats font l'objet de la troisième section. Le papier se termine par la conclusion et les perspectives de la section IV.

II. APPROCHE PROPOSEE

Dans le but de maîtriser l'incertitude sur la qualité des produits fabriqués en prenant en compte un plan de production moyen avec des ressources de contrôle limitées, l'approche proposée se compose de deux étapes (voir figure 1) :

- Étape 1 : un modèle d'allocation basé sur le risque est employé pour définir un plan de tests minimal qui assure un niveau donné d'exposition aux risques pendant l'horizon du plan de production moyen considéré.
- Étape 2 : le plan de surveillance défini à l'étape 1 est ajusté en distribuant (retranchant) la capacité restante de test (ou manquante) selon un critère lié aux caractéristiques de ressources de processus et de contrôle. Dans cette étape, des contraintes de disponibilité et de capacité des ressources de contrôle sont également prises en considération.

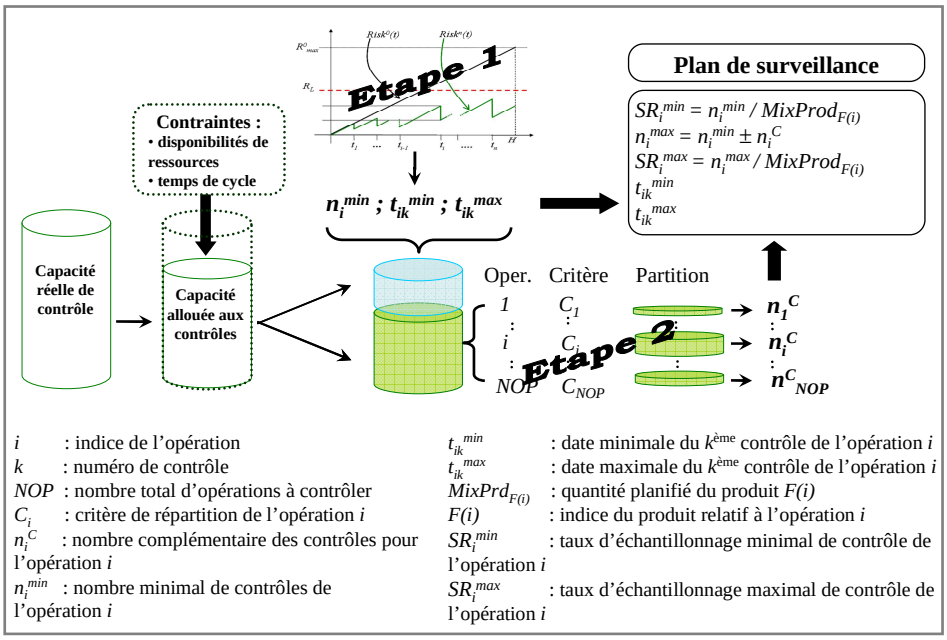

Figure 1. Approche en deux étapes

A. *Etape 1 : plan de surveillance minimal*

Cette étape repose sur une approche qui peut être considérée comme un point assuranciel pour concevoir un plan de surveillance.

1. Notations

n : Nombre de contrôles
H : Horizon de production exprimé en quantité de produits à fabriquer.
k : Numéro de contrôle
t_k : Date du $k^{ème}$ contrôle, $k \in \{1,2,...,n\}$
T : Vecteur des dates de n contrôles, $T=(t_1,t_2,...,t_k,...,t_n)$
R_L : Limite d'exposition aux risques
$R_{\max}^0$: Valeur maximale que peut atteindre l'exposition au risque durant l'horizon de production lorsque aucun contrôle n'est planifié. $R_{\max}^0 = \max_t Risk^0(t)$

$Risk^{n,T}(t)$: la fonction du risque, $t \in [1, H]$

$R_{\max}^{n,T}$: Valeur maximale que peut atteindre l'exposition au risque durant l'horizon de production lorsque n contrôles sont planifiés aux dates définies par le vecteur T.

$$R_{\max}^{n,T} = \max_t Risk^{n,T}(t)$$

$AV^{n,T}$: Valeur ajoutée de n contrôles aux dates définies par T exprimée en fonction de gains en termes d'exposition au risque.

$$AV^{n,T} = f(Risk^0(.), Risk^{n,T}(.))$$

Dans cette recherche, la fonction de valeur ajoutée est la suivante : $AV^{n,T} = R_{\max}^0 - R_{\max}^{n,T}$.

2. Hypothèses et modèle

Le modèle est focalisé sur la maitrise de l'exposition au risque dans le système de production et est basé sur les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : un contrôle peut être commencé par des mesures ou des inspections et peut inclure toutes les actions nécessaires pour réduire l'incertitude sur les produits et les processus (nouvelles mesures, analyses, maintenance, assortissant ou ferraillant des produits…).

Hypothèse 2 : un contrôle permet d'éliminer l'incertitude sur tous les produits fabriqués depuis le dernier contrôle.

Hypothèse 3 : un contrôle est sans délai entre la mesure (ou le test) et l'action corrective en cas de détection d'un événement non souhaité.

Hypothèse 4 : les outils de contrôle ne présentent aucun risque de non détection, ni de fausse détection.

Ces hypothèses représentent ce qui suit : la production continue jusqu'à ce qu'un contrôle systématique soit effectué sur le produit. Le dépassement d'une certaine limite d'exposition au risque (R_L) pourrait mener à une rupture importante (production, pénalités de client…). Une perte au-dessous de cette limite est vue comme acceptable, elle peut être compensée. Le but est alors de définir, en premier lieu, une stratégie permettant de calculer un nombre minimum de contrôles pour rester au-dessous de la limite R_L et de définir leurs positions dans le plan de production. Le modèle de base, permettant de déterminer la meilleure stratégie, est illustré par la Figure 2.

Comme le risque évolue de façon linéaire avec la production, la valeur du risque à chaque instant de l'horizon H est donnée par la formule suivante :

$$Risk^{n,T}(t) = t - \max_{\substack{k\in\{0,..,n\}\\ t_k<t}} t_k$$

La valeur du risque à chaque instant de contrôle est donnée par la formule suivante :

$$Risk^{n,T}(t_k) = t_k - t_{k-1} \quad \forall k \in \{1,...,n+1\} \qquad (1)$$

Avec $t_0 = 0$ et $t_{n+1} = H$

Ainsi, on peut évaluer la valeur ajoutée d'un plan de surveillance comme suit:

$$AV^{n,T} = R^0_{\max} - \max_{t\in\{1,..,H\}} Risk^{n,T}(t) = R^0_{\max} - \max_{k\in\{1,...,n+1\}} Risk^{n,T}(t_k)$$

$$AV^{n,T} = R^0_{\max} - \max_{k\in\{1,...,n+1\}} (t_k - t_{k-1}) \qquad (2)$$

Pour une valeur donnée de n, il est évident que la meilleure valeur de $AV^{n,T}$ est obtenue lorsque les contrôles sont positionnés de façon équidistante sur l'horizon de production :

$$t_1^* = (t_2^* - t_1^*) = ... = (t_n^* - t_{n-1}^*) = (H - t_n^*) = \frac{H}{n+1} \qquad (3)$$

Alors

$$AV^{n,T^*} = H.\frac{n}{n+1} \quad \forall n \qquad (4)$$

Comme l'objectif est de maintenir le risque en-dessous de R_L, la valeur minimale de contrôles n* peut être déterminée comme suit :

$$n^* = \min n \,/\, AV^{n,T^*} \geq R^0_{\max} - R_L$$

$$n^* = \min n \,/\, R^0_{\max} - \frac{H}{n+1} \geq R^0_{\max} - R_L$$

$$n^* = \min n \,/\, n \geq \frac{H}{R_L} - 1 = \left\lceil \frac{H}{R_L} - 1 \right\rceil \qquad (5)$$

Avec $\lceil x \rceil$: premier entier supérieur ou égal à x.

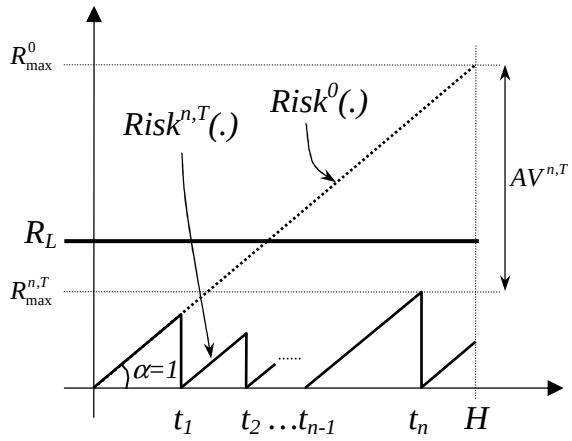

Figure 2. Fonction du risque avec et sans contrôles

Ce modèle peut être appliqué sur un plan de production constitué de plusieurs types de produits en différentes quantités et différentes opérations à effectuer sur différents outils de fabrication.

Dans le cas où la limite d'exposition est la même pour tous les outils de fabrication, le nombre minimal de contrôle à effectuer est à calculer pour chacune des opérations i comme suit :

$$n_i^{\min} = \left\lceil \frac{H_{TOOL(i)}}{R_L} - 1 \right\rceil \times \left\lceil \frac{Qt_{PRD(i)}}{H_{TOOL(i)}} \right\rceil$$

Avec

$i \in \{1,\ldots,NOP\}$: indice de l'opération à contrôler
NOP : nombre total des opérations à contrôler
NP : nombre de variétés de produits à fabriquer
Qt_p : quantité de produit p à produire, $p \in \{1,\ldots,NP\}$
$PRD(i)$: indice du produit auquel appartient l'opération i
$TOOL(i)$: indice de l'outil sur lequel l'opération i est effectuée

B. Etape 2 : Ajustement du plan de surveillance minimal selon les caractéristiques de capacité et d'aptitude des ressources

Cette étape permet d'ajuster le plan de contrôle calculé à l'étape 1 en fonction de la capacité de contrôle disponible. Cette capacité noté *CAPA* est exprimée en unité de temps.

En effet, le plan de contrôle minimal calculé à l'étape 1 correspond une charge de contrôle notée CH_1 utilisée pour maitriser le niveau de l'exposition au risque.

Selon les valeurs de *CAPA* et CH_1 trois cas se présentent :

1. Cas 1 : $CAPA = CH_1$

La capacité disponible correspond exactement à la charge nécessaire à l'étape 1. Dans ce cas l'étape 2 ne sera pas effectuée et le plan de contrôle final est celui calculé à l'étape 1. Il est à noter que dans ce cas aucune marge de flexibilité sur le nombre de contrôles à effectuer n'est permise. Par contre, une marge de flexibilité sur les dates de contrôles peut exister dans le cas où H n'est pas un multiple de R_L.

2. Cas 2 : $CAPA > CH_1$

Une capacité résiduelle $RCAPA = CAPA - CH_1$ est distribuée à différentes opérations selon l'algorithme itératif présenté en Figure 3. La partition de *RCAPA* se fait selon un critère C_i relatif aux opérations et sur plusieurs itérations. Le

critère choisi dans notre exemple est calculé en fonction des aptitudes de l'outil de fabrication et de l'outil de contrôle : $C_i=CPM_i/CP_i$.

Le nombre de contrôles pour une opération i dans le plan de surveillance final est $n_i = n_i^{\min} + n_i^c$ où n_i^c est le nombre complémentaire de contrôles déterminé à l'étape 2.

3. Cas 3 : *CAPA<CH1*

L'étape 1 aboutit à une surcharge des outils de contrôle $SURCH=CH_1-CAPA$.

L'étape 2 va donc consister à enlever l'équivalent de cette surcharge en réduisant le nombre de contrôle calculée à l'étape1 selon un critère $C'_i=1/C_i$. Le nombre de contrôles de l'opération i dans le plan de surveillance final sera :

$n_i = n_i^{\min} - n_i^c$.

L'algorithme de répartition est identique à celui du cas 2 avec les modifications suivantes :

- Ligne N°4 : $RCAPA^0=SURCH$
- Ligne N°9: $n_i^{C,k} = \left\lceil \frac{PART_i^k}{Ct_i} \right\rceil ; \quad \forall i \in S^0$
- Ligne N°16: $S^k \leftarrow S^{k-1} - Arg\underset{i \in S^{k-1}}{Max} C'_i$

Données
S^0: ensemble de toutes les opérations $\{1, \ldots, NOP\}$
$RCAPA^0$: la capacité résiduelle initiale obtenue juste après l'étape 1.
Ct_i : Temps de contrôle de l'opération i
$C_i=CPM_i/CP_i$: valeur de critère de l'opération $i \in \{1, \ldots, NOP\}$
Qt_p : Quantité à fabriquer du produit $p \in \{1, \ldots, NP\}$

Variables
S^k: ensemble des opérations à la $k^{ème}$ itération.
$RCAPA^k$: la capacité résiduelle à la $k^{ème}$ itération
$n_i^{C,k}$: Nombre de contrôles complémentaires ajoutés à l'opération *i* à la $k^{ème}$ itération

Début
1. $S^0=\{1,\ldots,NOP\}$
2. $RCAPA^0=TOTALCAPA-CH_{RBCP}$
3. $S^k=S^0$
4. $RACAP^k=RCAPA^0$
5. $k=0$
6. Tant que $RCAPA^k>0$ et $S^k \neq \varnothing$
7. $k \leftarrow k+1$
8. $\begin{cases} PART_i^k \leftarrow RCAPA^{k-1} \times \dfrac{C_i \times Qt_{F(i)}}{\sum_{j \in S^k} C_j \times Qt_{F(j)}}; & \forall i \in S^{k-1} \\ PART_i^k \leftarrow 0; & \forall i \in \left\{S^0 - S^{k-1}\right\} \end{cases}$
9. $n_i^{C,k} = \left\lfloor \frac{PART_i^k}{Ct_i} \right\rfloor ; \quad \forall i \in S^0$
10. si $\sum_{j=1}^{k} n_i^{C,j} \geq Qt_{F(i)}$
11. $n_i^{C,k} \leftarrow Qt_{F(i)} - \sum_{j=1}^{k-1} n_i^{C,j}$
12. $RCAPA^k \leftarrow RCAPA^k - \sum_{i \in S^k} Ct_i \times n_i^{C,k}$
13. $S^k \leftarrow S^{k-1} - \{i\}$
14. sinon
15. $RCAPA^k \leftarrow RCAPA^k - \sum_{i \in S^k} Ct_i \times n_i^{C,k}$
16. $S^k \leftarrow S^{k-1} - Arg\underset{i \in S^{k-1}}{Min} C_i$
17. fin si
18. Fin Tant que
19. $n_i^C = \sum_{j=1}^{k} n_i^{C,j} \quad \forall i \in \{1,\ldots, NOP\}$

Fin

Figure 3. Algorithme de répartition de capacité résiduelle

III. EXPERIMENTATIONS ET DISCUSSION

A. *Présentation du cas d'étude*

Le cas d'étude concerne la conception d'un plan de surveillance pour une production d'une semaine où 3 produits *A*, *B* et *C* sont à fabriquer avec les quantités 1000, 800 et 1200 respectivement. Le modèle des flux et les caractéristiques des opérations sont aussi présentés (voir Tableau 1 et Tableau 2). Chaque produit *p* est obtenu après un nombre fixe d'opérations successives (NOP_p). Chaque opération est traitée sur un type d'outils caractérisée par une aptitude moyenne ($CP_i \in [0,5 ; 7,5] \quad \forall i \in \{1,\ldots, NOP\}$) et contrôlée sur un outil de mesure également caractérisé par son aptitude à détecter le mode de défaillance sous surveillance ($CPM_i \in [2 ; 12] \quad \forall i \in \{1,\ldots, NOP\}$).

Dans cette étude les capacités des outils de mesure sont prises en considération et toute la charge du contrôle ne devrait pas dépasser une limite fixe de saturation notée *OBJSAT*. La valeur de *OBJSAT* est généralement imposée dans le but de garantir un temps de cycle cible qui est fortement influencée par le nombre de contrôles effectués sur le produit pendant toutes les étapes du processus. En outre, un pourcentage de la capacité de mesure (*OOC%*) est réservé dès le départ aux mesures additionnelles qui sont faites dans les cas de la détection d'une situation de « hors-contrôle ».

Produit	A	B	C
NOP_p	12	8	17
Qt	1000	800	1200

Outils de production	TOOL1 TOOL2 TOOL3
Nbr. Outils de test	2
Disponibilité des outils de test	70%
OBJSAT	75%
OOC%	5%

Tableau 1. Plan de production et contraintes

i	PRD	OPER_ID	PTIME	Ct	TOOL	CP	CPM
1	A	2300	60	5	TOOL2	3,33	10,00
2	A	2500	60	5	TOOL2	1,67	5,00
.	.	…	…	…	…	…	…
.	.	…	…	…	…	…	…
.	.	…	…	…	…	…	…
12	A	7550	30	5	TOOL1	3,00	5,00
13	B	2300	60	5	TOOL2	3,33	10,00
14	B	4200	120	10	TOOL2	1,18	4,00
.	.	…	…	…	…	…	…
.	.	…	…	…	…	…	…
.	.	…	…	…	…	…	…
20	B	6550	30	5	TOOL1	3,00	6,00
21	C	1000	240	8	TOOL3	2,50	6,67
.	.	…	…	…	…	…	…
.	.	…	…	…	…	…	…
.	.	…	…	…	…	…	…
37	C	7550	30	10	TOOL1	3,00	5,00

Tableau 2. Modèle des flux et caractéristiques des opérations

B. *Exemple illustratif de calcul de plan de surveillance*

Cet exemple illustre les résultats obtenus par l'approche décrite dans la section II avec *OBJSAT=75%* et $R_L=150$.
Par exemple, l'opération « *2300* » du produit « *A* » traité sur l'outil « *TOOL2* » devrait être contrôlé au moins 7 fois pour assurer que cet outil n'exécute jamais plus de 150 opérations successives sans être contrôlé. Ce nombre minimum de contrôle est calculé à l'étape 1 de l'algorithme. Le nombre maximal de contrôles pour cette opération est 1000 qui est la somme des nombres de contrôles obtenus en étape 1 plus le nombre obtenu à l'étape 2. Le Tableau 3 récapitule les

résultats obtenus et donne une vue générale du plan de surveillance obtenu. Dans cet exemple, il sera possible de contrôler 96,93%, 100% et 84,74% des opérations des produits « A », « *B* » et « *C* » respectivement. Ce qui correspond au contrôle de 81,74%, 95,35% et 93,29% des opérations exécutée sur les outils « *TOOL1* », « *TOOL2* » et « *TOOL3* » respectivement.

		PRD			TOOL		
		A	B	C	TOOL1	TOOL2	TOOL3
	Mixprod	1000	800	1200			
	NOP	12	8	17	11200	22800	4800
Nbr_Ctrls	max	11632	6400	17286	9101	21739	4478
	min	84	48	136	78	158	32
SR	max	96,9%	100,0%	84,7%	81,3%	95,3%	93,3%
	min	0,7%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%

Tableau 3. Récapitulatif des résultats pour OBJSAT=75% et RL=150

C. Résultats et discussion

Dans ces expérimentations, l'observation porte particulièrement sur les taux de prélèvement de contrôle des opérations : $SR_i=n_i/Qt_{F(i)}$. Il parait logique que des taux élevés permettent de limiter l'exposition au risque en termes de nombre de produits potentiellement perdus au cours des périodes non contrôlées de temps de production. Le but est d'évaluer l'influence des paramètres R_L et *OBJSAT* sur la politique de surveillance.

La Figure 4 représente les résultats globaux obtenus avec *OBJSAT=75%* en faisant varier R_L entre 0 et 1000. Le cas R_L=0 représente une variante de notre approche où le calcul du plan de surveillance est basé seulement sur l'étape 2.

On peut observer que le nombre total de contrôles (courbe a) et les taux moyens d'échantillonnage (courbes b), c) et d)) sont très sensibles aux variations de R_L dans un intervalle de valeurs basses. Il y a une valeur de R_L à partir de laquelle ces valeurs se stabilisent. En effet, quand R_L devient très grand, la charge de contrôle issue de l'étape 1 devient très faible et la majorité de la capacité disponible est utilisée dans l'étape 2. Alors les courbes tendent vers les mêmes valeurs que dans le cas sans l'étape 1 (R_L =0). Cette observation est valide pour chacune des courbes de la Figure 4.

L'influence de capacité de contrôle (*OBJSAT*) et de la limite d'exposition RL est analysée en utilisant les résultats de la Figure 5 qui présente les variations des taux d'échantillonnage en fonction de ces deux paramètres de point de vue produit et de point de vie outils de fabrication.

Pour des valeurs assez élevées d'*OBJSAT* traduisant des grandes capacités de contrôle, la valeur de R_L n'a pratiquement pas d'influence sur la politique de contrôle. Plus de 90% des produits sont contrôlés avec un faible avantage pour les produits dont les opérations sont majoritairement exécutées sur les outils 2 et 3.

Pour des valeurs faibles d'*OBJSAT*, le paramètre R_L devient déterminant et n'a pas le même effet d'un produit à un autre ou d'un outil à un autre. Par exemple, lorsque *OBJSAT=10%* et R_L =5 (qui signifie une faible capacité de contrôle avec une exigence forte en terme d'exposition au risque), la politique de contrôle favorise le contrôle du produit C (SR=13,2%), puis le produit B, (SR=5,0%) et enfin le produit A (SR=3,3%).

Cette hiérarchie entre les produits n'est pas la même lorsque R_L=100 et devient B (SR=16,5%), puis A (SR=15,2%), ensuite C (SR=10,0%). Le même phénomène peut être observé du point de vue outils de fabrication.

Ces simulations montrent bien la complexité de la conception des plans de surveillance dans le cas de différents produits à fabriquer en différents quantités sur différents outils de fabrication, ce qui est le cas standard dans une fab microélectronique.

Les résultats obtenus montrent que la limite d'exposition est un paramètre clé, qui se révèle avoir une influence importante surtout lorsque la capacité de contrôle est limitée.

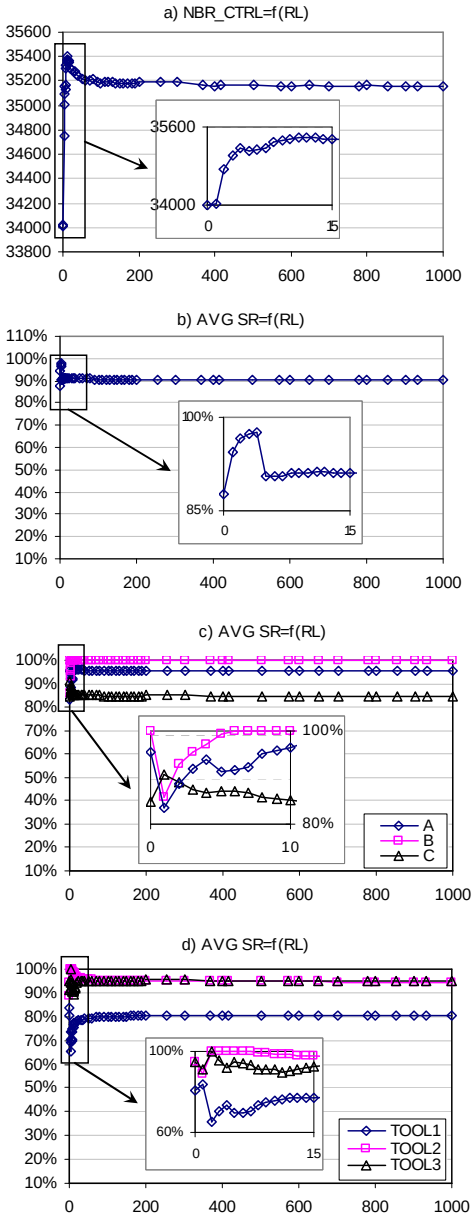

Figure 4. Résultats globaux en fonction de R_L avec *OBJSAT=75%*

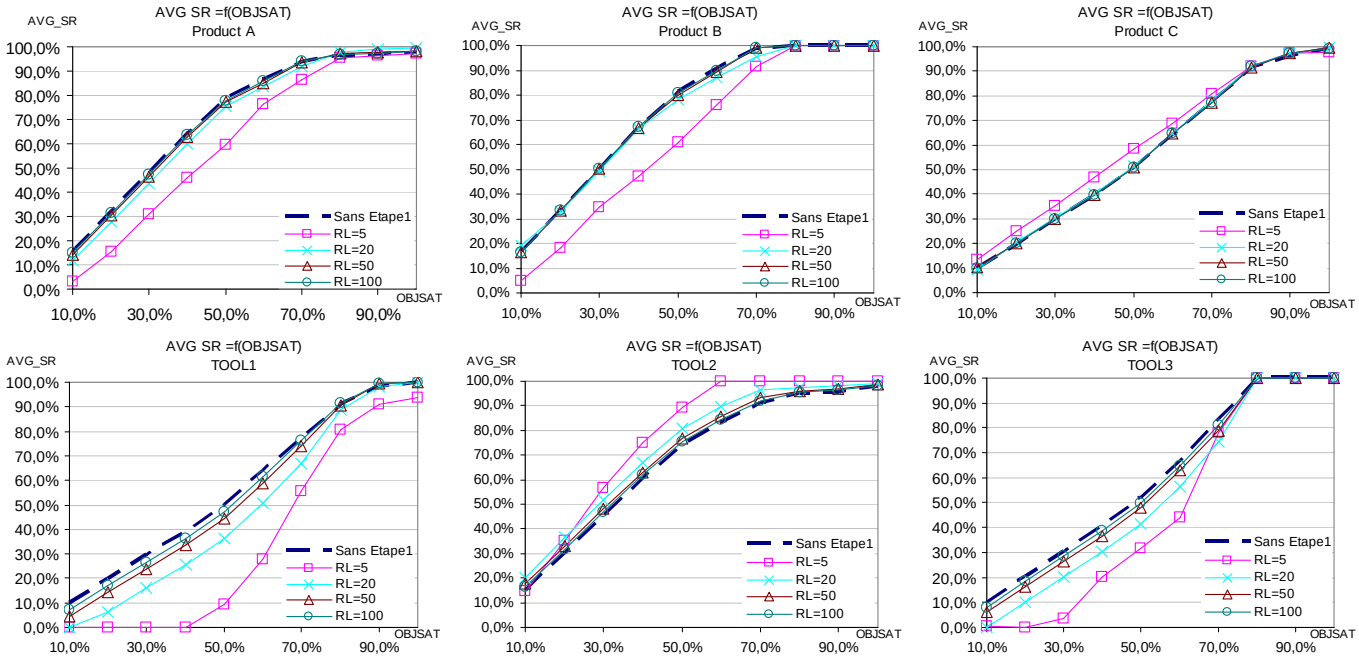

Figure 5. Effets de R_L avec différents valeurs de *OBJSAT*

I. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, une nouvelle approche de conception de plans de surveillance de procédés industriels est proposée. Cette approche permet de maitriser le niveau de l'exposition au risque exprimé en termes de pertes potentielles des produits et d'optimiser l'utilisation des ressources de contrôle. Elle apparait comme particulièrement adaptée à la production en microélectronique.

Cette approche a été testée sur une instance fictive d'un plan de production d'une semaine. Les simulations effectuées pour analyser l'influence de différents paramètres ont montré l'importance de choix de la limite d'exposition en fonction des capacités de contrôle disponibles.

Comme perspectives à ce travail, les points suivants semblent présenter quelques pistes à explorer :

- Evaluer l'efficacité de l'approche proposée et son apport sur le rendement de la production. Cette évaluation pourrait être faite soit par la simulation soit par une comparaison du type avant/après dans un contexte industriel réel.
- Prendre en compte différents niveaux d'importance (ou de maturité) entre les produits ce qui se traduit par des limites d'expositions (R_L) différentes d'un produit à un autre.
- Analyser la robustesse d'approche proposée face à la boucle de rétroaction due au fait que certains contrôles peuvent engendrer des actions (en cas de détection d'anomalies) sur les processus. Ces actions peuvent avoir un impact sur le critère *C=CPM/CP*.
- Comment appliquer le plan de surveillance en temps réel et faire face aux aléas opérationnels qui sont les résultats des politiques d'ordonnancement mises en place ?

II. REMERCIEMENTS

Les auteurs sont fortement reconnaissants à Philippe Vialletelle de STMicroelectronics Crolles pour avoir fourni l'instance des données. Ce travail est soutenu par le projet européen IMPROVE : 'Implementing Manufacturing science solutions to increase equiPment pROductiVity and fab pErformance'.

III. REFERENCES

[1] M. Pillet, *Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC)* , Editions d'Organisation, 2005.

[2] G.S. May et C.J. Spanos, *Fundamentals of semiconductor manufacturing and process control*, New Jersey: Wiley-interscience, 2006.

[3] A.E. Summers, "Introduction to layers of protection analysis," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 104, Nov. 2003, pp. 163-168.

[4] R. Gowland, "The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer of protection analysis (LOPA) methodology: A step forward towards convergent practices in risk assessment?," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 130, Mar. 2006, pp. 307-310.

[5] W.A.J. Schippers, "An integrated approach to process control," *International Journal of Production Economics*, vol. 69, Jan. 2001, pp. 93-105.

[6] J.G. Shanthikumar, "Effects of capture rate and its repeatability on optimal sampling requirements in semiconductor manufacturing," *International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, Santa Clara, CA, USA: 2007, pp. 1 - 6 .