



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/9799>

#### **To cite this version :**

Shirin MIRDAMADI, Lionel MARTIN, Lionel ROUCOULES, Ali SIADAT, Jean-Yves DANTAN -  
Proposition d'une démarche décisionnelle outillée pour la génération d'un processus d'inspection  
- In: QUALITA 2013, France, 2013-03-20 - QUALITA 2013 - 2013

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@ensam.eu)



# Proposition d'une démarche décisionnelle outillée pour la génération d'un processus d'inspection

## Computer-Aided Inspection Planning (CAIP)

S. Mirdamadi, J. Y. Dantan, A. Siadat

Arts et Métiers ParisTech, CER de Metz  
LCFC, Laboratoire de Conception, Fabrication Commande  
shirin.mirdamadi@ensam.eu

S. Mirdamadi, L. Roucoules, L. Martin

Arts et Métiers, CER d'Aix-en-Provence, France  
LSIS, Laboratoire des Sciences de l'Information et des  
Systèmes

**Abstract**— Dans le cycle de conception du produit et de son processus, de fabrication jusqu'à l'industrialisation, il est inévitable de prendre en compte la variabilité des caractéristiques. Maitrise de l'évolution de celui-ci passe systématiquement par l'élaboration d'un processus d'inspection. Nous proposons à travers cet article, un processus décisionnel outillé qui intègre multiple aspects de la performance. Il est constitué d'une activité stratégique définissant un ensemble de critères de la prise de décision et trois activités opérationnelles dont l'objectif est de la conception conjoint des tâches de contrôle et de suivi de fabrication. Dans cet article, la modélisation et la formalisation de cette prise de décision ainsi que la capitalisation de la connaissance métier par les outils, intervenants dans la démarche décisionnelle, sont proposées.

**Mots clés**— *plan d'inspection; caractéristique clé ; CAIP ;*

### I. INTRODUCTION

Dans le cycle de conception du produit et de son processus de fabrication jusqu'à sa production, il est inévitable de prendre en compte la variabilité des caractéristiques. Cette variabilité impacte sur le comportement du produit, donc sur l'usage et les fonctionnalités de celui-ci. De ce fait, elle risque d'engendrer une non-satisfaction des utilisateurs au regard des besoins voir la non-conformité de produit.

Dans l'objectif d'assurer le fonctionnement attendu par le client, le contrôle de conformité du produit vise à vérifier la satisfaction de toutes les exigences (expressions formelles des besoins via des contraintes sur des caractéristiques du produit, des sous-ensembles ou des composants). Egalement afin de réduire ces non-conformités, il est possible de piloter le système de production en appliquant un suivi de fabrication préventif (Maitrise statistique des procédés). Les contrôles de conformité et les activités de suivi de fabrication ont un point commun : l'exploitation de mesures de caractéristiques du produit, des composants ou des paramètres de procédés mais aboutissent à des fins différentes.

Comme le souligne M. PILLET [1] : « Le contrôle est à la qualité, ce que le stock est à la gestion des flux : un mal nécessaire que l'on doit réduire le plus possible »

En se rapprochant à cet idéal, la mise au point du suivi de fabrication ou / et du contrôle de conformité peut non seulement être intégrée à la phase de conception afin de

diminuer le temps de développement, mais aussi permettre une amélioration continue de la qualité attendue par le client.

Afin de réduire les coûts, d'augmenter la productivité et diminuer les taux de non-conformité, nous proposons un processus de co-conception du processus de contrôle de conformité et de suivi de fabrication afin de minimiser l'intervention des opérations de mesure et de mieux les exploiter afin de maîtriser les causes de variations (la finalité du suivi de fabrication et du pilotage) et les conséquences (la finalité du contrôle de conformité). Cela nous permet également de minimiser le coût de contrôle en liant ces deux derniers et en diminuant les activités de contrôle

Cet objectif fait suite au constat que le processus de contrôle de conformité, et le processus de suivi de fabrication ne sont pas forcément définis et planifiés dans un contexte industriel par les mêmes acteurs, ni lors des mêmes phases de développement du produit et de son processus de fabrication, et via les mêmes outils.

Dans ce contexte scientifique, nous proposons de développer un cadre générique d'aide à la décision élaborant un plan d'inspection et une analyse critique des outils d'aide à la génération.

Nous abordons dans un premier temps l'ensemble des critères à prendre en compte d'un point de vue stratégique pour la génération d'un processus d'inspection. Cela nous amène par la suite à développer une idée préliminaire de la solution, décrivant les concepts nécessaires à manipuler.

Après avoir argumenté les choix effectués, nous détaillons ensuite le processus décisionnel proposé qui démontre la nécessité d'intégration des outils de maîtrise de qualité. Une analyse critique des outils existants est également proposée.

Ainsi la synthèse de la démarche et l'analyse des outils constituent la conclusion et les perspectives.

### II. POINT DE VUE STRATEGIQUE DU PROCESSUS D'INSPECTION

L'objectif stratégique global de la conception d'un système de production est le retour sur investissement. [2] a déployé Axiomatic Design (AD) pour la conception des systèmes de fabrication dans le cadre du Lean Manufacturing :

«Manufacturing System Design Decomposition » (MSDD) afin de décomposer l'objectif stratégique. Ainsi, il identifie des objectifs liés à la satisfaction du client, à l'augmentation de la productivité (à la maintenance, ...), à la réduction des coûts, .... Lors d'une prise de décision opérationnelle, ces critères stratégiques se déclinent aux niveaux du produit, du processus et du contrôle.

Au niveau « produit », le critère principalement pris en compte est la satisfaction du client. Il déclenche généralement des activités de contrôle de conformité afin de vérifier le respect des exigences produit ou des spécifications des pièces qui assurent le fonctionnement du produit.

Au niveau « processus » qui assure l'obtention des spécifications, la capabilité des opérations de fabrication, le taux des produits défectueux, et ... découle d'un critère global, la difficulté de réalisation. Ce critère déclenche notamment le suivi de processus de fabrication mais aussi le contrôle de conformité. Le but est la détection des problèmes rencontrés lors de la fabrication ou la prévention de ces derniers par le suivi de fabrication.

De plus la capabilité des moyens de contrôle, l'efficacité de moyens de contrôle étant donnés les risques de contrôle (l'incertitude de contrôle), le cout de contrôle, et ... ont un fort impact sur la génération de processus d'inspection lors du choix des modes et de la fréquence de contrôle.

Ainsi nous pouvons remarquer qu'une prise de décision multicritères est indispensable pour la génération d'un plan d'inspection.

Dans l'objectif de la Co-conception de contrôle de conformité et le suivi de fabrication, il semble pertinent d'exploiter les liens existants entre les exigences du produit et les caractéristiques de la pièce à contrôler, et les paramètres du processus de fabrication et des ressources à suivre. qui impactent de manière significative, le coût final, les fonctionnalités, ou la sûreté du produit, quand ces dernières, dites les caractéristiques clés (KC's) varient des valeurs cibles

[3]. Ces KC's ainsi que leurs relations causales seront identifiées par KC flowdown.

En synthèse, deux exigences relatives aux démarches et outils de CAIP sont à retenir :

- Une analyse multicritères (satisfaction du client, risque, cout, ...)
- Une analyse des relations causales entre les caractéristiques

### III. L'IDEE PRELIMINAIRE DE LA SOLUTION

Le modèle d'activité du processus décisionnel pour la génération de plan d'inspection est proposé pour assurer non seulement la qualité du produit mais aussi l'efficacité des processus de fabrication. Fonctionnalité du produit, du processus ou du contrôle, sont interdépendants de notre point de vue. Pour structurer la solution (fig. 1), un modèle d'activité comme IDEF0 semble pratique pour la modélisation de processus vu qu'il prend partiellement en compte l'aspect organisationnel (Appel), la vue des ressources et la vue informationnelle.

L'activité « Concevoir un processus d'inspection » a pour objectif attendu de fournir le meilleur rapport entre l'efficacité du plan d'inspection, et le coût associé. Dans les pratiques industrielles, cette activité se positionne suite aux étapes de conception détaillée du produit et du processus de fabrication. L'ensemble des descriptions du produit, du processus et des moyens de fabrication sont considérés comme des entrées de cette activité.

La première idée est une décomposition de la démarche en trois parties générales, formalisées par trois grandes questions :

- Quoi contrôler?
- Comment contrôler?
- Quand contrôler

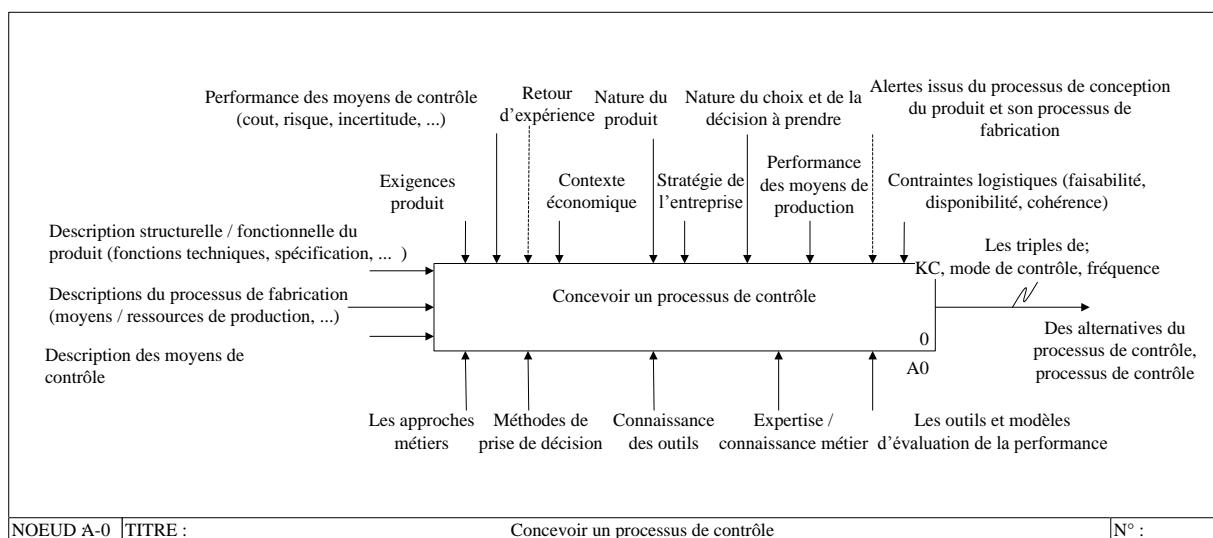


Figure 1. Vue globale de la prise de décision sous le formalisme IDEF0

#### IV. PROCESSUS D'AIDE A LA DECISION POUR LA GENERATION D'UN PLAN D'INSPECTION

##### A. Vue d'ensemble

Les trois sous activités : « Quoi contrôler? », « Comment contrôler? », et « Quand contrôler? » nécessitent des analyses multicritères dont la définition et principalement la pondération des critères sont réalisées par une quatrième sous activités de définition stratégique des objectifs de la Co-conception. Cette définition stratégique est inhérente à la stratégie de l'entreprise, du contexte économique et du type de produit.

Par la suite, pour répondre aux trois questions décrites précédemment, la logique du flux d'information implique la définition de trois activités opérationnelles avec les relations d'antériorités :

- Identifier les caractéristiques-clefs à suivre / contrôler
- Identifier le mode / le moyen de contrôle approprié à chacune des caractéristiques-clés
- Identifier la fréquence adaptée de contrôle et / ou les points d'insertion des tâches de contrôle

Ainsi, l'activité « Concevoir un processus d'inspection » est décomposée en quatre activités qui sont modélisées en Figure 2.

Par la suite, ces sous activités sont détaillées en se focalisant sur les flux informationnels et sur les outils et méthodes supports de celles-ci.

##### B. Décision stratégique / Établir les critères de la prise de décision

Une hypothèse est faite : la décision prise lors d'une des trois sous activités opérationnelles n'influence pas les critères de choix des sous activités suivantes. L'indépendance des critères et des décisions prises lors de chacune des sous activités, mène à séparer l'activité d'identification des critères et ainsi de considérer cette activité d'identification comme une activité stratégique (non-opérationnelle) dans le processus de conception d'un plan d'inspection. D'un point de vue global les critères identifiés sont : "Satisfaction du client", "Difficulté de réalisation", et "Coût" (Fig. 2, A00).

La prise en compte de ces critères lors de chaque sous activité opérationnelle, se développe en fonction de l'objectif précis de celle-ci.

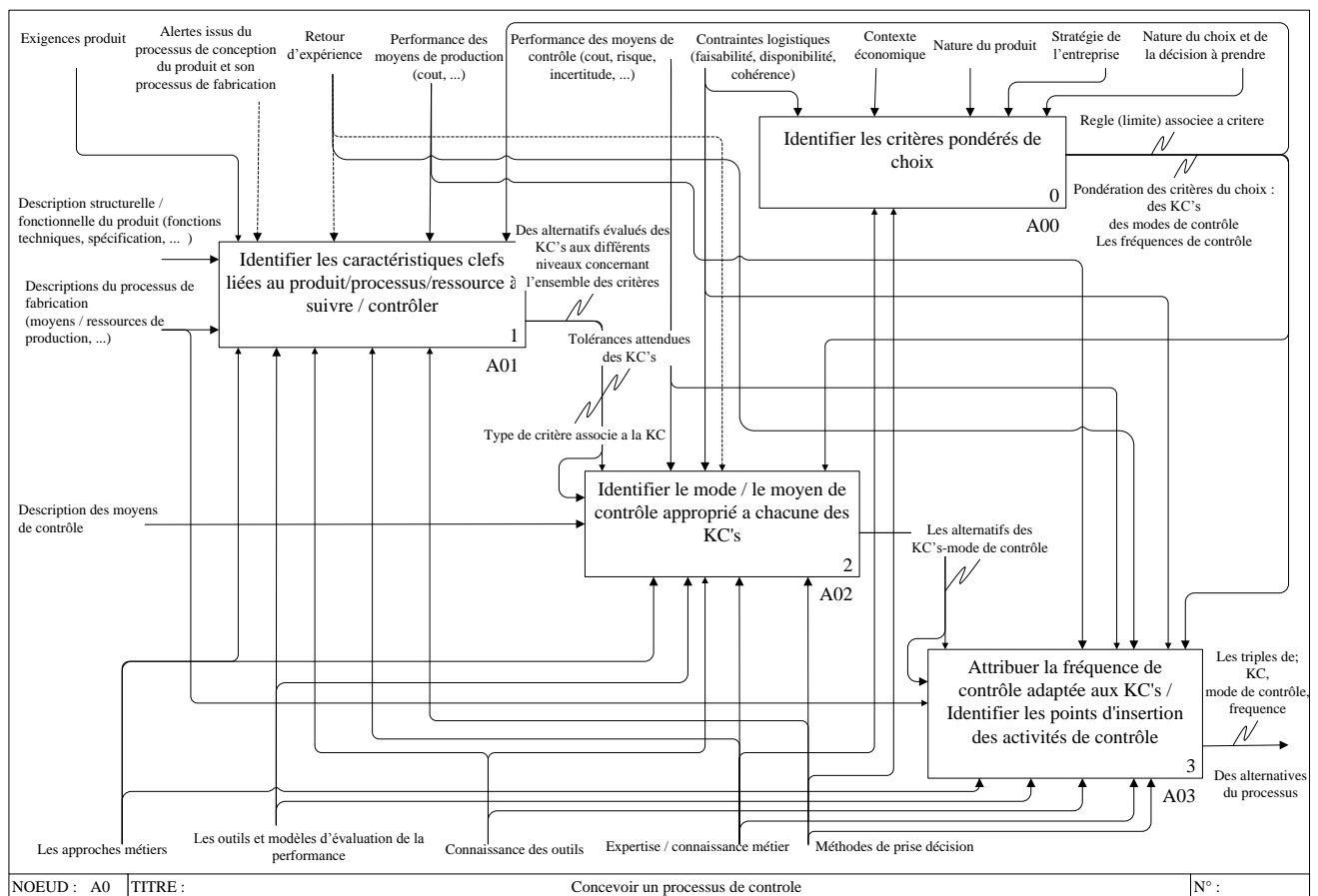


Figure 2. Les sous-activités de la prise de décision sous le formalisme IDEF0

### C. Décision opérationnelle / Support de la prise de décision

La vue opérationnelle se décline en trois sous activités qui sont assurées via une capitalisation et une exploitation des connaissances métier. Ces sous activités nécessitent la fédération des expertises métier (concepteur, gammiste, métrologue), et des échanges d'information structurée mais hétérogène. Le traitement de flux d'information à travers chacune des trois sous activités essentielles (lors de la prise de décision opérationnelle) est basé sur la définition des critères explicites et pertinents (lors de la prise de décision stratégique). Autrement dit, les décisions opérationnelles sont des décisions techniques, influencés par la définition des décisions stratégiques. Afin d'analyser la pertinence des différents outils de la qualité pour chacune des sous activités opérationnelles, la finalité de celle-ci est détaillée, ainsi que les flux informationnels, les critères à évaluer et les besoins en terme de fonctionnalités des outils.

1) *Identifier les caractéristiques-clés à suivre / contrôler*: Les caractéristiques produit/processus/ressource sont analysées afin de quantifier l'impact de celles-ci sur chaque critère, ... et de les classer en terme d'« importance » au regard des différents critères. La finalité de cette sous activité est l'identification des caractéristiques clés (caractéristiques dont leurs variations impactent fortement les critères). De plus, le but est de réduire le nombre des caractéristiques-clés à contrôler / suivre. L'intérêt est de limiter l'intervention de contrôle au strict nécessaire tout en gardant un certain niveau de qualité. Pour ce faire, l'idée est d'exploiter les liens entre les caractéristiques-clés de multiples niveaux, du produit, de la pièce, du processus de fabrication et des ressources [3] afin de procéder à une planification conjointe des tâches de suivi de fabrication et de contrôle de conformité.

A partir d'une description du produit et du processus de fabrication et d'information complémentaire comme les dispersions des moyens de production, la sortie de la sous activité est des alternatives d'ensembles de KC's sélectionnées via la classification des KCs pour chaque critère (Fig. 2, A01). Les critères à évaluer lors de cette sous activité sont :

a) *Satisfaction de client* - critère qui peut prendre plusieurs formes : la classe de gravité de chaque caractéristique, la hiérarchie des caractéristiques d'un même niveau (produit, pièce ou procédé), ... Une échelle de cotation doit être définie. Cette cotation a pour but d'évaluer le risque de non-conformités pour le client ou l'utilisateur, ...

b) *Difficulté de réalisation* – ce critère est généralement synonyme de capacité : La capacité est un critère mesurable adimensionnel. Ce critère permet de quantifier l'aptitude d'un procédé, processus, pièce ou produit à respecter les tolérances fixées par le cahier des charges. La capacité permet un choix objectif à un niveau de qualité requis (ni trop capable ni pas assez). Les indicateurs de capacité ont pour but de comparer la qualité d'une production sur une période donnée, par rapport à un objectif donné. Ce critère peut être aussi synonyme de défaillance de production et de fréquence de défaillance de production, ...

c) *Cout* : Ce critère est implicitement pris en compte dans les deux critères précédents, exemple dans la cotation de la gravité (le coût de défaillance externe, Error cost [4]). Beaucoup de travaux ont été réalisés dans le domaine de l'estimation du coût, lié aux activités d'inspection qui peut être décomposé en différents coûts : le coût de l'activité, le coût impacté par une non détection d'une non-conformité, ...

Cette sous-activité nécessite l'analyse du produit afin d'identifier et classer les KCs impactant la satisfaction du client, l'analyse du processus de fabrication afin d'identifier et classer les KCs qui sont sujettes à une difficulté de réalisation, et une analyse des coûts inhérents à l'inspection.

2) *Identifier le mode / le moyen de contrôle approprié à chacune des caractéristiques-clés*: La finalité est d'identifier le mode de contrôle (contrôle de conformité / suivi de fabrication), le moyen de contrôle le plus approprié et les ressources associées pour chaque KC ou ensemble de KCs identifiés lors de l'étape précédente en fonction de l'ensemble des critères (Fig. 2, A02). La sortie attendue est les activités d'inspection et les ressources associées d'inspection. Cette génération ou sélection des activités et ressources est pilotée par les critères suivants:

a) *Satisfaction de client* : Par rapport à la sous activité précédente, ce critère est relatif au risque de non détection d'une non-conformité de la KC considérée via les moyens d'inspection sélectionnés (difficulté de détection). Ce critère est impacté par les incertitudes de mesure et les incertitudes de méthode qui sont détaillées dans le GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [5], et dont la prise en compte lors de la prise de décision de conformité est formalisée dans la norme DIN EN ISO 14253, Geometrical Product Specifications (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measurement equipment – Part 1: Decision rules for proving conformance or nonconformance with specifications [6].

b) *Difficulté de réalisation* : Ce critère est comme le précédent synonyme de non détection d'une difficulté de réalisation : défaillance du système de production ou dérèglement de celui-ci. Généralement, il est impacté par l'efficacité de la stratégie de suivi de fabrication (comme le risque de seconde espèce des cartes de contrôle) et des incertitudes de mesure et de méthode. QRC (Qualité Risque Client) ou NQA (Niveau de Qualité Acceptable) sont généralement utilisés dans l'industrie.

c) *Cout* : Ce critère a principalement deux composantes : le coût de contrôle (Measurement cost [4], coût inhérent aux choix des activités et ressources d'inspection) et le coût engendré par le risque de non détection (Error cost, coût inhérent aux incertitudes liées à la prise de décision).

Les critères demandent ou imposent des outils capables de prendre en compte la difficulté de détection des moyens de contrôle et la capacité du processus. Les outils d'estimation de coût interviennent également afin de comparer les alternatives des moyens de contrôle étant donnés leurs risques et incertitudes.

3) *Identifier la fréquence adaptée de contrôle et / ou les points d'insertion des tâches de contrôle*: Après avoir identifié les KC's et les modes de contrôle appropriés, la dernière sous-activité est relative à l'ordonnancement et la planification des activités d'inspection. A partir de la gamme détaillée de production, des performances des moyens de contrôle (coût, risque, incertitude, ...), les points d'insertion des activités de contrôle dans la gamme sont identifiés afin de garantir les meilleures performances du processus d'inspection et la meilleure productivité du système de production (Fig. 2, A03). Les critères de cette sous activité sont donc :

a) *Satisfaction de client* : idem à la précédente sous activité ; par contre la planification a beaucoup moins d'impact sur ce critère.

b) *Difficulté de réalisation* : La planification des activités d'inspection va impacter ce critère lié à la détection des défaillances du système de production ou des dérèglages de celui-ci, puisqu'elle a un effet sur le temps de détection et donc la réactivité du suivi de fabrication et du pilotage du système de production.

c) *Cout* : Ce critère pour cette sous activité a plusieurs composantes : la productivité du système de production (l'impact des activités d'inspection sur la productivité), le fait de maintenir des produits non conformes dans la chaîne de production car non détectés, ...

Les outils nécessaires à cette sous activité doivent donc prendre en compte la réactivité de l'activité d'inspection, l'impact de celle-ci sur la productivité, .... L'estimation de cout de contrôle et de processus de fabrication par les outils s'impose et restreint le choix final.

La nécessité d'une démarche outillée a été démontrée par la description des sous activités avec un objectif multicritère. L'évaluation des critères dépend fortement de la façon dont nous abordons le choix des outils lors de chacune des sous activités. Autrement dit une fois les critères définis et pondérés, l'analyse des outils pour chaque sous activité permet d'identifier les outils les plus pertinents, capables d'évaluer les critères souhaités (Fig. 2, A00). Le but du prochain paragraphe est d'analyser l'adaptabilité et la complémentarité des outils déjà existants. Pour cela une attention particulière est portée à la sous-activité A01 : Identifier les caractéristiques-clés à suivre / contrôler.

## V. ANALYSE CRITIQUE DES OUTILS CLASSIQUES DE MAITRISE DE QUALITE

Afin d'identifier les KC's produit/pièce/procédé, il est nécessaire d'évaluer les critères suivants pour l'ensemble des caractéristiques:

- Satisfaction du client
- Difficulté de réalisation
- Cout

De ce fait, une analyse critique des principaux outils est détaillée au regard de leurs facultés à évaluer ces critères en

focalisant sur le type d'échelle d'évaluation et la précision. Avant cette analyse, un bref état de l'art est proposé.

### A. Etat de l'art

Au cours de ces trente dernières années, le concept de la qualité a profondément évolué. Partant d'une vision très centrée sur la conformité aux spécifications des produits, elle arrive à une vision plus globale visant à améliorer la performance industrielle pour une plus grande satisfaction du client. Plusieurs étapes sont à l'origine de ces évolutions dont on peut citer sans être exhaustifs:

- L'arrivée de la notion de la qualité totale (TQM : Total Quality Management) qui permettait de dépasser la simple conformité.
- L'ISO 9000 d'abord organisée en chapitres afin de prévenir les principales sources de défaillances, puis avec une vision processus davantage tournée vers le client et avec un souci de performance industrielle.
- La démultiplication de l'utilisation des outils statistiques et méthodologiques comme les plans d'expérience (DOE : Design Of Experiments), la Maîtrise Statistique de Processus (Statistical Process Control), le QFD, l'AMDEC (Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) ; (en anglais, FMEA)...
- L'intégration des notions d'amélioration continue (Continuous improvement) telles que le Kaizen [7].
- L'intégration de démarches de progrès permettant d'organiser les différents outils en les positionnant par rapport à une approche de gestion par projet telles que Six Sigma, Design for Six Sigma...
- L'approche « Lean Management » qui recherche la qualité, la performance et l'agilité de l'entreprise.
- La gestion des risques de variations telle que l'approche KCs qui se focalise sur l'amélioration de la qualité durant la conception et l'industrialisation du produit.

Par rapport à l'ensemble de ces approches et outils, nous nous focalisons sur ceux utiles à la sous activité A01 : les outils d'analyse fonctionnelle technique comme le Tableau d'Analyse Fonctionnelle Technique (TAFT), l'AMDEC, QFD, les capacités, l'approche KC et la matrice d'impact.

Le TAFT est un outil développé par l'APTE [8] pour l'analyse de la valeur, il a été enrichi par Renault dans les années 90. Il a pour objectif de capitaliser la démarche de l'analyse fonctionnelle technique de chaque composant du mécanisme en inventoriant l'ensemble des fonctions techniques élémentaires réalisées par celui-ci et en structurant toutes les conséquences en terme de spécifications. Ce tableau inclut pour les modes de défaillance, les classes de gravité, les spécifications micro ou macro géométriques du composant. La mise en œuvre du TAFT s'effectue durant la réalisation de la démarche d'analyse fonctionnelle technique en phase de conception détaillée.

AMDEC ou FMEA [9] (Failure Mode and Effects Analysis) est une approche inventée dans l'industrie

aéronautique américaine dans les années 60. Son but est de prévenir les défaillances potentielles d'un produit ou d'un processus de fabrication. Cette approche repose sur l'analyse complète du produit afin d'identifier ses modes de défaillances, les causes de défaillances et leurs effets. C'est une approche d'amélioration de la qualité ; ces premiers éléments constituent les bases de l'analyse qualitative de fonctionnement du système. Mais le propre de l'approche FMEA est de pouvoir également quantifier l'importance du risque lié à chaque effet. Pour se faire, les experts effectuent la notation (usuellement entre 1 et 10) de la fréquence d'apparition de la défaillance (F), de sa gravité (G) et de sa probabilité de non détection (D) et consignent l'ensemble dans un tableau. Selon le domaine d'application, il y a trois types principaux du FMEA :

- FMEA produit : rechercher des modes de défaillances du produit engendrés par sa conception.
- FMEA processus : rechercher des modes de défaillances du produit engendrés par son processus de fabrication.
- FMEA moyen de production (ressource) : rechercher des modes de défaillances des fonctions du moyen de production et de ses composants.

QFD (Quality Function Deployment) [10] est une approche inventée chez Mitsubishi au Japon dans les années 60. Le QFD est une approche permettant de traduire de façon appropriée les attentes du client en spécifications du produit et de son processus. La matrice QFD permet à la fois de définir les spécifications d'un produit (les COMMENT) à partir des attentes du client (les QUOI), de comparer le produit avec ses produits concurrents et de faire apparaître la solution optimale à mettre en place par l'entreprise. La partie matricielle QUOI vs COMMENT permet de quantifier la satisfaction qu'apporte une solution COMMENT pour répondre à une attente QUOI. C'est une évaluation subjective qui utilise l'échelle 1- 5-9 (ou 1-3-9) pour noter les relations faible, modérée et fortes.

La notion de capabilité [11] a été explicitée au paragraphe IV C b. existe dans la littérature de nombreux travaux portant sur la définition de l'indicateur de capabilité  $C_P$ ,  $C_{P_k}$ ,  $P_P$ ,  $P_{P_k}$ ,  $C_{P_i}$ ,  $C_{P_{ik}}$ , ...

KCs (Key Characteristics) est un concept apparu au cours des années 80, principalement dans de grandes entreprises américaines comme Boeing ou GM [12]. Une caractéristique clé est une propriété du produit, du processus de fabrication et des ressources qui affecte de manière significative le coût final, l'exécution, ou la sûreté du produit quand elle change de sa cible. Une structure arborescente hiérarchique est généralement employée pour décrire les caractéristiques principales d'un produit. Cette structure arborescente, désignée sous le nom KC Flowdown [13], lie les besoins des clients du produit (product KCs) à ses composants KCs (traditionnellement ; ce sont des spécifications dimensionnelles). Un KC Flowdown tient compte d'une décomposition du produit et des processus en permettant la traçabilité des causes, des paramètres de bas niveaux, et des effets, des fonctions de haut niveau. Il est possible d'utiliser cette cartographie des caractéristiques de deux façons : ascendante (bottom up), afin d'analyser les impacts d'une variation sur celles de plus haut niveaux ou descendante (top down) pour lister et synthétiser les

responsables d'une variation. Les relations entre les KCs peuvent prendre plusieurs de formes : équations, contraintes, règles...

La Matrice d'impact a été développée par Maurice PILLET [1] afin de hiérarchiser des caractéristiques élémentaires par rapport à leurs contributions sur l'ensemble des fonctions attendues. Cette approche comporte :

- une analyse fonctionnelle technique afin d'évaluer l'importance des fonctions attendues, la contribution de chacune des caractéristiques pièce sur chaque fonction afin d'en déduire l'importance intrinsèque de chaque caractéristique est calculée au regard de l'ensemble des fonctionnalités attendues par le client.
- une analyse des modes de défaillances processus liés à chaque caractéristique - en particulier l'occurrence de celles-ci.
- la définition du plan de surveillance qui est proposée par la détermination des méthodes de contrôle, la fréquence et le moyen de contrôle pour satisfaire le niveau de détection nécessaire, calculé à partir de la Gravité et la Fréquence. Le coût de contrôle pourrait être intégré par les experts dans cette étape.

Cet état de l'art sur les outils et approches classiques mène à une analyse critique de ces dernières et une investigation sur leurs complémentarités en fonction des besoins du processus décisionnel ; multicritères et multi niveaux.

## B. Analyse critique

Cette analyse porte sur la capacité des outils à aboutir une évaluation multicritères nécessaire au processus décisionnel détaillé dans le chapitre IV C. Le tableau 1 synthétise cette analyse outil par outil au regard des critères. Cette analyse est complétée par le tableau 2 afin de bien clarifier l'objet étudié par l'outil : produit, pièce, processus.

L'outil idéal est l'outil capable d'évaluer les critères souhaités dans le chapitre IV C aux niveaux du produit, de la pièce et du processus.

En synthèse de cette analyse pour le critère « satisfaction du client », nous remarquons que principalement deux stratégies d'évaluation se dégagent :

- une stratégie pessimiste (TAFT, AMDEC) ou l'expert cote une fonction, une spécification ou une opération de fabrication à partir de l'impact de la défaillance sur la satisfaction du client en évaluant la gravité de celle-ci sur une échelle ordinale. Nous pouvons parler ici de risque de non qualité.
- Une stratégie optimiste (QFD, matrice d'impact, KC Flowdown) ou l'expert cote une fonction, une spécification ou une caractéristique process en fonction de la désirabilité ou la préférence du client.

Nous pouvons remarquer que la majorité des évaluations de ce critère se base sur une échelle ordinale. La quantification des importances ou des gravités est subjective, elle est basée sur le niveau d'expertise de l'évaluateur.

TABLE I. ANALYSE DES OUTILS AU REGARD DES CRITERES

Outils	Critères (Activité A01)		
	<i>Satisfaction du client</i>	<i>Difficulté de réalisation</i>	<i>Cout</i>
TAFT	Gravité de la défaillance associée à chaque spécification pièce Echelle ordinale Estimation faite par l'expert	-	-
AMDEC Produit	Gravité de la défaillance associée à chaque fonction Echelle ordinale Estimation faite par l'expert	Occurrence de la défaillance Echelle ordinale Estimation faite par l'expert	-
AMDEC Processus	Gravité de la défaillance associée à chaque activité du processus ayant un effet sur la satisfaction du client Echelle ordinale Estimation faite par l'expert	Occurrence de la défaillance Echelle ordinale Estimation faite par l'expert	-
QFD I/II	Grille d'importance des fonctions et des caractéristiques pièces Echelle ordinale Estimation faite par l'expert et propagée au niveau inférieur	-	Grille comparative des solutions par rapport à la concurrence Echelle ordinale Estimation faite par l'expert
QFD III	Grille d'importance des caractéristiques pièces et processus Echelle ordinale Estimation faite par l'expert et propagée au niveau inférieur	Capabilités Echelle cardinale Estimation numérique	-
Etude des Capabilités	-	Capabilités Echelle cardinale Estimation numérique	-
KC Flowdown	Pondérations des exigences & spécifications Echelle cardinale Estimation faite par une analyse de sensibilité.	Capabilités Echelle cardinale Estimation numérique	-
Matrice d'impact	Grille d'importance des fonctions, et niveau de sensibilité des fonctions par rapports aux caractéristiques Echelle ordinale Estimation faite par l'expert	Capabilités Echelle cardinale Estimation numérique	-

De plus, cette évaluation est généralement dite locale, c'est-à-dire que l'évaluation d'une spécification au niveau pièce est faite indépendamment des autres évaluations au même niveau ou au niveau produit, sauf pour QFD et matrice d'impact qui exploite une analyse des sensibilités entre les niveaux.

En synthèse de cette analyse pour le critère « Difficulté de fabrication », nous pouvons remarquer deux types d'évaluation :

- une évaluation qualitative (AMDEC) en s'intéressant à la fréquence d'apparition des défaillances (La fréquence d'apparition d'une défaillance, est due à la capacité des moyens de production qui garantissent la qualité du produit),
- une évaluation quantitative (QFD, Matrice d'impact, KC Flowdown) en s'intéressant aux capabilités.

L'outil AMDEC se distingue des autres afin d'effectuer une agrégation de plusieurs critères pour la prise de décision.

De plus, il est important de noter que la notion de capacité se décline en plusieurs indices qui ont des finalités différentes : court terme ou long terme, variabilité ou décentrage, et que l'évaluation de celle-ci nécessite des connaissances sur les dispersions de fabrication.

En synthèse de cette analyse pour le critère « coût », nous pouvons remarquer qu'aucun outil ne permet une évaluation explicite de ce critère sauf la matrice d'impact qui permet une prise en compte du coût a posteriori.

Comme le montre le tableau, la plupart des outils ne sont pas capable d'évaluer à la fois les trois critères. De plus, un autre constat est fait, les évaluations sont dites locales, les dépendances entre les fonctions, spécifications et caractéristiques process sont peu tracées et exploitées. Ces outils ne permettent pas d'évaluer l'impact d'une activité de contrôle ou de suivi de fabrication d'une exigence ou d'une spécification ou d'une caractéristique process sur les valeurs des critères des autres. Ce constat est primordial par rapport à l'objectif d'inspection au juste nécessaire. Car un suivi de fabrication d'une caractéristique process doit permettre de réduire la variabilité à long terme de caractéristiques pièces et produit.

Afin de compléter cette analyse critique par rapport à ce constat, le tableau 2 synthétise la capacité des outils à prendre en compte les dépendances entre les caractéristiques des différents niveaux. Nous distinguons le niveau où l'évaluation est faite et les niveaux des informations nécessaires pour celle-ci.

TABLE II. CAPACITE D'IDENTIFICATION DES CARACTERISTIQUES AUX MULTIPLES NIVEAUX PAR LES OUTILS

Outils	Caractéristiques aux multiples niveaux		
	Produit / Fonction	Pièce	Processus / Ressources
TAFT	I	E	
AMDEC Produit	I/E	E	
AMDEC Processus		E	E
QFD I/II	I/E	E	
QFD III		I/E	E
Etude de capacité		I	I/E
KC Flowdown	I/E	E	E
Matrice d'impact	I	E	E

I: Information / E: Evaluation

## VI. CONCLUSIONS / PERSPECTIVE

L'objectif de cet article était de développer un cadre générique d'aide à la décision afin de générer un plan d'inspection en maîtrisant de multiples aspects de la performance globale du système de production. Une première orientation de la proposition est la co-conception du processus de contrôle de conformité et du processus de suivi de fabrication afin de planifier au juste nécessaire les activités d'inspection. Cette orientation nous a conduits à définir un cadre méthodologique incluant une activité stratégique ayant comme objectif la définition des critères de sélection et leur pondération, et trois activités opérationnelles ayant pour objectifs : d'identifier les caractéristiques-clefs à suivre / contrôler, d'identifier le mode / le moyen de contrôle approprié à chacune des caractéristiques-clés, et d'identifier la fréquence adaptée de contrôle et / ou les points d'insertion des tâches de contrôle.

Afin de mettre en œuvre ce cadre méthodologique, les besoins en termes de fonctionnalités des outils support de chaque activité ont été explicités et une analyse critique des outils usuellement utilisés a été exposée. La synthèse de cette analyse est que la majorité des outils est pertinent pour soit la planification des tâches de contrôle de conformité ou soit pour la planification des tâches de suivi de fabrication, mais aucun ne permet de dégager une vision globale du problème afin d'envisager une co-conception.

Ce constat ouvre des perspectives intéressantes : Pour effectuer une co-conception, faut-il coupler des outils ? Faut-il développer un nouvel outil ? Faut-il adapter un outil ?

## REFERENCES

- [1] M. Pillet, V. Ozouf, A. Sergent, and D. Duret, "La matrice d'impact pour construire un plan de surveillance avec les contraintes de l'ingénierie simultanée". CPI. Rabat, Maroc, 2007.  
<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00334151/>
- [2] D. Cochran, and H. Rudolf, "Investment and resource allocation Methodology to support manufacturing system Design Implementation". Journal of Manufacturing Systems CIRP, 2003.

- [3] A. C. Thornton, "Engineering Design A Mathematical Framework for the Key Characteristic Process". Research in Engineering Design, vol. 11(3), 1999, pp. 145-157.
- [4] H. Kunzmann, T. Pfeifer, R. Schmitt, H. Schwenke, and A. Weckenmann, "Productive metrology-Adding value to manufacture". CIRP Annals-Manufacturing Technology, vol. 54(2), 2005, pp. 691-713.
- [5] International Organization for Standardization, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", ISBN 92-67-r10188-9, 1995.
- [6] ISO 14253-1: Geometrical Product Specifications (GPS) -- Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment - Part 1: Decision rules for proving conformance or non-conformance with specifications ISO 1998.
- [7] M. Imai, Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. McGraw-Hill, New York, 1986.
- [8] F. Charpentier, L. Mathieu, "L'analyse fonctionnelle technique, une solution pour la recherche des conditions fonctionnelles géométriques", Actes de la journée thématique AIP-Primeca Tolérancement le long du cycle de vie du produit, Cachan, 2005
- [9] H.E. Arzen, "Failure mode and effects analysis – A powerful engineering tool for component and system optimisation", Proceedings of 5th Reliability and Maintainability Conference, New York, July 1966, Academic Press (1967).
- [10] S. Mizuno, A. Yoji, "Quality Function Deployment: A Company Wide Quality Approach" (in Japanese) JUSE Press, 1978.
- [11] D. Duret, M. Pillet, "Qualité en Production : De l'ISO 9000 à Six Sigma", 3ème édition, Editions d'Organisation, ISBN 2-7081-3388-8, 2005.
- [12] Boeing Company. Commercial Airplane Group.; Boeing Company. Commercial Airplane Group. Quality & Surveillance Dept., Editions de The Company, 1992.
- [13] A. C. Thornton, "Variation risk management". (John Wiley.). New Jersey: Hoboken, 2004