



HAL
open science

Comment conserver un niveau de risques acceptable dans un contexte de conception / industrialisation de plus en plus rapide d'un produit de plus en plus complexe ?

Vincent Ozouf

► To cite this version:

Vincent Ozouf. Comment conserver un niveau de risques acceptable dans un contexte de conception / industrialisation de plus en plus rapide d'un produit de plus en plus complexe ?. Sciences de l'ingénieur [physics]. Université de Savoie, 2009. Français. NNT : . tel-00450032

HAL Id: tel-00450032

<https://theses.hal.science/tel-00450032>

Submitted on 25 Jan 2010

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.

THESE
présentée par
Vincent OZOUF

Pour obtenir le diplôme de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE SAVOIE
(Arrêté ministériel du 30 mars 1992)

Spécialité : génie Industriel

Concevoir et produire « sûr de fonctionnement » :
Comment conserver un niveau de risques acceptable
dans un contexte de conception / industrialisation de
plus en plus rapide d'un produit de plus en plus
complexe

Soutenue publiquement le 7 décembre 2009 devant un jury composé de

Zohra CHERFI	Rapporteur	Professeur à l'université Technologique de Compiègne
Alain BARREAU	Rapporteur	Professeur à l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers
Jean-Pierre NADEAU	Président	Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Bordeaux
Pierre MOREL	Membre du jury	Directeur Qualité du groupe SOMFY
Maurice PILLET	Directeur de thèse	Professeur à l'université de Savoie
Paul SCHIMMERLING	Membre du jury	Chef de la cellule d'expertise " Statistiques et Optimisation de la Conception" de l'ingénierie mécanique du groupe RENAULT

Préparée au sein du laboratoire SYMME
Système et Matériau pour la MEdatronique

Sommaire

Introduction	6
La maîtrise de risque en conception	10
1. Introduction	11
2. L'analyse fonctionnelle	13
2.1. Phase 1 : Définir les limites du système	14
2.2. Phase 2 : Validation du besoin du système	15
2.3. Phase 3 : Rechercher les différentes situations de vie	16
2.4. Phase 4 : Lister les environnants du système	17
2.5. Phase 5 : Rechercher les fonctions du systèmes	18
2.6. Phase 6 : libeller les fonctions	19
2.7. Phase 7 : Caractériser les fonctions	20
2.8. L'analyse fonctionnelle interne ou technique	22
2.8.1. Décomposition du système	23
2.8.2. Identification des flux à l'intérieur du système	23
3. L'Analyse Préliminaire de Risques	25
3.1. L'APR approche fonctionnelle	26
3.2. L'APR approche agressions	33
3.2.1. Agression du système vers l'extérieur	34
3.2.2. Agression du milieu extérieur sur le système	35
4. L'AMDEC Produit	36
4.1. L'AMDEC Produit : approche fonctionnelle	37
4.1.1. Analyse qualitative de l'AMDEC Produit approche fonctionnelle	38
4.1.2. Analyse quantitative de l'AMDEC Produit approche fonctionnelle	43
4.1.3. Etude comparative des grilles de cotation proposées par les constructeurs automobile	45
4.1.4. Nos propositions en termes de grilles de cotation d'AMDEC Produit	56
4.1.5. Actions correctives à mettre en œuvre suite à l'AMDEC Produit	61
4.1.6. Mise à jour des AMDEC Produit	64
4.2. L'AMDEC Produit : approche composant	65
4.3. Lien entre l'approche fonctionnelle et l'approche composant	68
4.4. Définition des caractéristiques spéciales du produit	70
5. L'arbre de défaillance	72
5.1. Arbre de défaillance, arbre des causes ou arbres d'événements	72
5.2. Construction de l'arbre de défaillance	73
5.2.1. Définition de l'événement redouté (sommet de l'arbre)	74
5.2.2. Les portes logiques	74
5.2.3. Déroulé de l'analyse	75
5.3. Evaluation de la robustesse de conception par le niveau de coupe	76
5.4. Evaluation de la probabilité d'apparition de l'événement redouté	77
5.5. Allocation fiabilité des différents composants du système	78
6. Conclusion du chapitre	79

La maîtrise de risque en fabrication	81
1. Introduction	82
2. Cartographie du processus	82
2.1. <i>Descriptif du diagramme de flux</i>	82
2.2. <i>Recherche des paramètres par un plan d'expériences</i>	86
3. AMDEC Processus	89
3.1. <i>Constitution du groupe de travail</i>	90
3.2. <i>AMDEC Processus : Partie analyse qualitative</i>	91
3.3. <i>AMDEC Processus : Partie analyse quantitative</i>	98
3.3.1. Cotation de l'occurrence	98
3.3.2. Cotation de la gravité	99
3.3.3. Cotation de la détection	100
3.3.4. Etude comparative des grilles de cotation proposées par les constructeurs automobile	100
3.3.5. Nos propositions en termes de grilles de cotation d'AMDEC Processus	112
3.3.6. Approche originale de cotation de l'AMDEC Processus : la cotation ppm	116
3.4. <i>AMDEC Processus : Partie actions correctives</i>	118
3.5. <i>Mise à jour des AMDEC processus</i>	122
4. Conclusion du chapitre	122
Vers une maîtrise de risque efficiente en conception	124
1. Introduction	125
2. Procédure de conception sûre et rapide	126
3. Apport au niveau de l'analyse fonctionnelle	127
4. Amélioration de l'efficience au niveau de l'APR fonction	127
4.1. <i>Positionnement de chaque fonction dans notre matrice Importance / Maîtrise</i>	128
4.2. <i>Détermination du mode de définition du type de validation</i>	130
5. Notre approche de validation des fonctions de type sécuritaire par arbre de défaillance	134
5.1. <i>Détermination du niveau SIL des défaillances racine</i>	135
5.2. <i>Construction du plan de validation en fonction du niveau SIL des défaillances racine</i>	138
6. Notre approche de détermination des validations fonctionnelles par l'AMDEC produit (approche fonctionnelle)	139
6.1. <i>Problèmes relatifs à l'approche classique</i>	140
6.1.1. Problème N°1 : Non primeur des approches de conception robuste sur les actions de validation	140
6.1.2. Problème N°2 : Sur-qualité potentielle	141
6.1.3. Problème N°3 : Perte de temps dans la réalisation des AMDEC par une recherche de causes parfois inutile	141
6.2. <i>Notre approche pour réaliser les AMDEC Produit</i>	142
6.2.1. Recherche des modes de défaillances potentiels, de leurs effets et coter les critères d'occurrence et de gravité	142

6.2.2.	Recherche des Actions Correctives pour réduire les occurrences les plus élevées	143
6.2.3.	Définition du plan de validation	145
7.	Détermination de la relation fonction / caractéristique par la matrice d'impact	153
7.1.	<i>Cas où on dispose d'une relation $Y = f(x_1, \dots, x_k)$ connue</i>	154
7.1.1.	Calcul des contributions dans le cas d'un tolérancement statistique	154
7.1.2.	Calcul des contributions dans le cas d'un tolérancement au pire cas	154
7.2.	<i>Cas où on ne dispose pas d'une relation $Y = f(x_1, \dots, x_k)$ connue</i>	155
8.	Amélioration de l'efficacité au niveau de l'APR agression	157
8.1.	<i>Positionnement de chaque composant dans notre matrice Importance / Maîtrise</i>	157
8.2.	<i>Détermination du mode de définition du type de validation</i>	159
9.	Notre approche de détermination des validations composants par l'AMDEC produit (approche composant)	162
9.1.	<i>Recherche des défaillances potentielles, et en coter l'occurrence</i>	163
9.2.	<i>Recherche des effets et évaluation de la gravité de ces défaillances grâce à la matrice d'impact</i>	164
9.2.1.	Détermination la note de gravité des fonctionnalités client	165
9.2.2.	Détermination de la gravité des caractéristiques produit	166
9.3.	<i>Recherche des actions correctives à mettre en œuvre pour réduire les occurrences les plus fortes</i>	170
9.4.	<i>Construction du plan de validation nécessaire et suffisant pour viser l'objectif de criticité souhaité.</i>	171
10.	Conclusion du chapitre	175
Vers une maîtrise de risque efficiente en industrialisation		177
1.	Introduction	178
2.	Avertissement	179
3.	Procédure d'industrialisation efficiente	180
4.	Création du processus de fabrication et du diagramme de flux correspondant	180
5.	Traitement des défaillances process pouvant générer des défaillances sécuritaires	183
5.1.	<i>Construction de l'arbre de défaillance avec les causes process</i>	183
5.2.	<i>Evaluation en SIL des défaillances process</i>	185
5.3.	<i>Construction du plan de surveillance en fonction du niveau SIL des défaillances racine</i>	187
6.	Notre approche de détermination du plan de surveillance par l'AMDEC processus	190
6.1.	<i>Problèmes relatifs à l'approche classique</i>	191
6.1.1.	Problème N°1 : Non primeur des actions de maîtrise sur les actions de contrôles	191
6.1.2.	Problème N°2 : Sur-contrôle potentiel	192
6.1.3.	Problème N°3 : Perte de temps dans la réalisation des AMDEC	192
6.2.	<i>Notre approche pour réaliser les AMDEC Processus</i>	192
6.2.1.	Recherche des anomalies potentielles	193
6.2.2.	Rechercher des Actions correctives pour réduire les occurrences les plus élevées	194

6.2.3. Construction du plan de surveillance au juste nécessaire	195
7. Approche globale de sécurisation d'une industrialisation par la matrice d'impact complète.	199
7.1. <i>Analyse de la gravité associée à chaque caractéristique du produit</i>	200
7.2. <i>Analyse de l'occurrence relative à chaque caractéristique du produit</i>	201
7.2.1. Détermination du mode de défaillance process pouvant générer une anomalie sur la caractéristique	202
7.2.2. Détermination d'un poids à chaque mode de défaillance process	203
7.2.3. Détermination de la difficulté de réalisation de la caractéristique	203
7.2.4. Calcul de l'occurrence	204
7.2.5. Réduction des occurrences les plus fortes	205
7.3. <i>Définition du plan de surveillance</i>	206
7.3.1. Détermination de la position des contrôles	207
7.3.2. Détermination du mode de détection	208
7.4. <i>Evaluation de la satisfaction client</i>	210
8. Conclusion du chapitre	214
Conclusion	216
Bibliographie	221

INTRODUCTION

Maîtrise de risques et conception rapide : est-ce antinomique ?

Maîtrise de risques et conception rapide : Est-ce antinomique ?

Dans nos civilisations modernes, autant les populations acceptent de prendre les risques qu'elles choisissent (dans leurs activités sportives, en jouant à la bourse, ...) autant elles ne supportent plus les risques subis tels que les risques de contamination par les aliments (problème de la vache folle), les risques médicaux (scandale du sang contaminé), les risques industriels (Tchernobyl, Bhopal, ..) ou les accidents liés à des produits défectueux (prétendu problème sur le régulateur de vitesse des Renault VEL SATIS).

Cette aversion des populations pour le risque subi se retrouve naturellement dans la loi. Ainsi, lorsque le législateur stipule que « le producteur est responsable du dommage causé par son produit » [Conseil européen, 1985], il transfère une partie du risque, autrefois supporté uniquement par le consommateur, sur l'industriel producteur du bien. Cette législation, rendant de fait le chef d'entreprise pénalement responsable, pousse celui-ci à limiter au maximum les risques liés à l'utilisation de son produit.

Mais, fort heureusement, tous les produits ne présentent pas de risques liés à la sécurité. Certains provoquent uniquement un mécontentement du client lorsqu'ils défont. Et dans une économie de marché comme la notre, un client mécontent d'un produit pourrait être tenté de se retourner vers le produit concurrent, alors même qu'il peut être légèrement plus cher.

La maîtrise des risques se retrouve donc ainsi au centre d'un double enjeu :

- Enjeu juridique avec l'obligation légale de mettre sur le marché des produits sécuritaires.
- Enjeu commercial pour conserver sa place dans la compétition mondiale actuelle.

Ainsi, au fil du XXe siècle, des méthodologies d'analyses de risque ont vu le jour, encore actuellement plus ou moins bien déployées dans l'industrie.

On peut ainsi citer l'AMDEC [STAMATIS, 2003] (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) qui, depuis de nombreuses années, est considérée comme la méthodologie la plus efficace pour fiabiliser la conception et l'industrialisation des systèmes. A ce titre, bon nombre d'industries (automobile, aéronautique, ...) ont rendu obligatoire la réalisation des AMDEC dans leurs processus de développement.

L'approche consiste à rechercher de façon exhaustive l'ensemble des défaillances potentielles, pour ensuite évaluer l'importance de chacune d'entre elles par une cotation multicritères, afin de prioriser les points sur lesquels le concepteur devra concentrer ses efforts d'amélioration.

Si on considère qu'un risque est la non réalisation d'un besoin client, il est tout d'abord primordial de bien connaître ces besoins. Tel est l'objet de l'analyse fonctionnelle [Bretsche, 2000] qui par une démarche structurée, permet au groupe de travail de bien recenser

l'ensemble des fonctionnalités attendues par le client, fonctionnalités qui seront regroupées et formalisées dans un document appelé Cahier des Charges Fonctionnel.

Cependant, si l'AMDEC est très efficace pour prioriser les risques, ce n'est pas l'outil idéal pour rechercher les causes d'une défaillance avérée ou potentielle. Aussi, sont apparus des outils spécifiquement conçus pour la recherche de causes. Le plus classique est le diagramme causes-effets aussi appelé diagramme d'ISHIKAWA [Perigord, 1987] qui permet d'organiser le brainstorming d'un groupe de travail pour rechercher l'ensemble des causes d'un événement donné. Si le diagramme d'ISHIKAWA s'avère généralement suffisant en recherche de cause au niveau process, la non prise en compte de la combinatoire entre ces causes peut en limiter l'intérêt, notamment en phase conception de systèmes complexes. C'est pour palier cet inconvénient qu'est apparu l'arbre de défaillance [Limnios, 2005], sorte de diagramme causes-effets prenant en compte la combinatoire des causes qui amènent à un événement redouté par une série de ET, et de OU.

Ces outils ont d'abord été utilisés seuls, puis les uns après les autres (ou plutôt les uns à côté des autres...). Il a fallu attendre la fin des années 80 pour voir apparaître des méthodes mettant en musique tous ces outils.

- Côté maîtrise de la production, la méthode la plus citée est le « six sigma » [Harry, 1988] mais on peut également noter la méthode « Shainin » [Bothe, 2003].
- Côté maîtrise de la conception, les outils d'analyse de risque ont été organisés dans une méthode appelée « Sureté de fonctionnement » [Villemeur, 1988] ou DFSS pour Design For Six Sigma [Wang, 2005].

Mais ces démarches, basées sur l'exhaustivité des analyses, sont fatalement chronophages, aussi cette quête de l'exhaustivité est souvent incompatible avec les impératifs de coûts et de délais imposés par le marché. En effet, la plupart des industriels se retrouvent actuellement dans une situation paradoxale :

- Le marché (voire la législation) leur impose un produit de plus en plus sûr, qu'ils ne savent assurer autrement qu'en réalisant des analyses de risque de plus en plus longues (quelqu'en soit le type).
- Le même marché leur impose des temps de développement de plus en plus courts, incompatibles avec des analyses de risque poussées.

D'où un certain nombre « d'impasses » pas toujours judicieuses et un taux de défaillance résultant inadmissible pour le client.

De plus, depuis quelques années, se rajoute à cette contrainte de délai, un facteur supplémentaire : la complexification des systèmes. En effet, pour résister à la pression toujours plus forte des pays à bas coûts de main d'œuvre dans la compétition globale actuelle, les entreprises occidentales n'ont aujourd'hui qu'une seule alternative : INNOVER [Mascitelli, 2005]. Innover pour proposer un produit répondant aux nouvelles aspirations des clients et ainsi s'ouvrir de nouveaux marchés. Innover pour pouvoir continuer à produire localement des produits à des coûts compatibles avec les nouveaux prix du marché.

Mais la notion de risque est malheureusement inhérente à la notion d'innovation car rares sont les innovations qui marchent naturellement du premier coup.

Mais alors que faire pour sortir de ce paradoxe ? Comment conserver un niveau de risque acceptable dans un contexte de développement de plus en plus rapide de systèmes de plus en plus complexes ? La réponse ne peut évidemment pas être monolithique mais récemment, la problématique de la réduction des temps de développement a trouvé un catalyseur au travers d'approches appelées « Lean Design » [Mascitelli, 2004]. De la première revue bibliographique réalisée par Baines [Baines, 2006], plusieurs éléments émergent :

- Le travail collaboratif au travers du concurrent engineering [Ma, 2008].
- Une démarche structurée de conception qui utilise des outils finalement assez classiques (gestion de projet type PERT [Azaron, 2006], analyses de risque type AMDEC [Granholm, 2004], etc...)
- Une démarche de sécurisation des développements

Même si ce dernier point renvoie à des méthodologies plus classiques déjà énoncées comme le DFSS, **il nous semble qu'un certain nombre d'améliorations peuvent être apportées à la réalisation classique des analyses de risque** et ce à deux niveaux :

- Le paramétrage du champ et de la profondeur des analyses à réaliser
- La façon de réaliser ces analyses afin de les rendre plus rapides, plus efficaces et donc plus « finançables » par l'industriel tout en étant mieux acceptées par les groupes d'analyse eux-mêmes.

Notre travail développé dans ce recueil se situe donc à deux niveaux :

- Un travail de synthèse, encore jamais présenté à notre connaissance, de l'ensemble cohérent des démarches et outils concourant à la sécurisation d'une conception ou d'une industrialisation. Ainsi le premier chapitre sera constitué d'un descriptif approfondi des méthodologies classiques d'analyse de risque en conception, le deuxième présentera les approches classiques en fabrication.
- Une proposition de nouvelles approches ou d'améliorations dans la mise en œuvre des approches classiques, permettant d'adapter le problème de la sécurisation d'un développement au contexte de réduction des délais. Ces améliorations fruit de plus de deux décennies de pratiques industrielles et de recherche d'efficacités de ces pratiques, seront abordées dans les troisième (vers une maîtrise de risque efficace en conception) et quatrième (vers une maîtrise de risque efficace en fabrication) chapitres de ce recueil.

Tout comme les littératures relatives à la méthodologie « six sigma » qui sépare les approches en conception par le DFSS (Design for Six Sigma) [Chowdhury, 2003] et les approches en production par le DMAIC (Define – Measure – Analyze – Improve – Control) [Eckes, 2006] [Brulebois, 2007], nous avons scindé ce recueil en « maîtrise des risques en conception » et « maîtrise des risques en fabrication », aussi bien pour le descriptif des approches classiques que pour la partie amélioration des pratiques, les méthodologies d'analyses de risque étant distinctes quant à leur fonctionnement pour chacune des problématiques ci-dessus.

LA MAITRISE DE RISQUE EN **CONCEPTION**

« Ceux la sont de bien plus grand
mérite et d'expérience qui savent
prévenir les maladies,
que ceux qui les guérissent »

Michel de l'Hospital
1505 - 1573

La maîtrise de risque en conception

1. Introduction

Toutes les entreprises sont soumises à un certain nombre de risques (risques humains, techniques, économiques, ...); malheureusement, la plupart des entreprises ne prennent conscience de cette notion de risque que lorsqu'un effet non désiré se produit.

Les conséquences en sont parfois dramatiques mais heureusement, le plus souvent, elles ne sont que "coûteuses". Cependant, combien de chefs d'entreprises disent : "si j'avais pu prévoir ...".

Pour palier ces défaillances, on peut faire des "interventions pompier". Mais ces "interventions pompier" sont généralement très coûteuses et relativement peu efficaces. C'est donc au niveau de la prévention qu'il faut intervenir notamment en sécurisant les développements.

Au cours du XXe Siècle, de nombreux outils et/ou méthodes ont été créés dans le but de réduire les risques techniques inhérents à toute mise sur le marché d'un produit [Lannoy, 2008]. On peut citer pêle-mêle : les essais de fiabilité, les Analyses Préliminaires de Risques, les Arbres de défaillances, les check-lists, les AMDEC, etc.

Certains de ces outils ou méthodes, telle l'analyse fonctionnelle, visent à concevoir « bon du premier coup » par la formalisation de bonnes pratiques de conception, d'autres comme l'AMDEC, ont pour objet d'analyser un premier jet de conception de façon subjective afin de mener des actions correctives pour réduire les risques a priori les plus élevés, d'autres enfin tels les essais de fiabilité, ont pour objet de s'assurer que le système conçu répondra au besoin client par des tests physiques.

De plus, certains de ces outils sont très rapides à mettre en œuvre, mais leur portée est cependant généralement assez réduite, d'autres sont beaucoup plus puissants mais nécessitent souvent beaucoup plus de temps de la part des équipes de conception.

Le tableau ci-dessous présente une liste non exhaustive de démarches et outils que le concepteur pourra rencontrer dans les littératures, classées par type et par temps nécessaire à leur mise en œuvre.

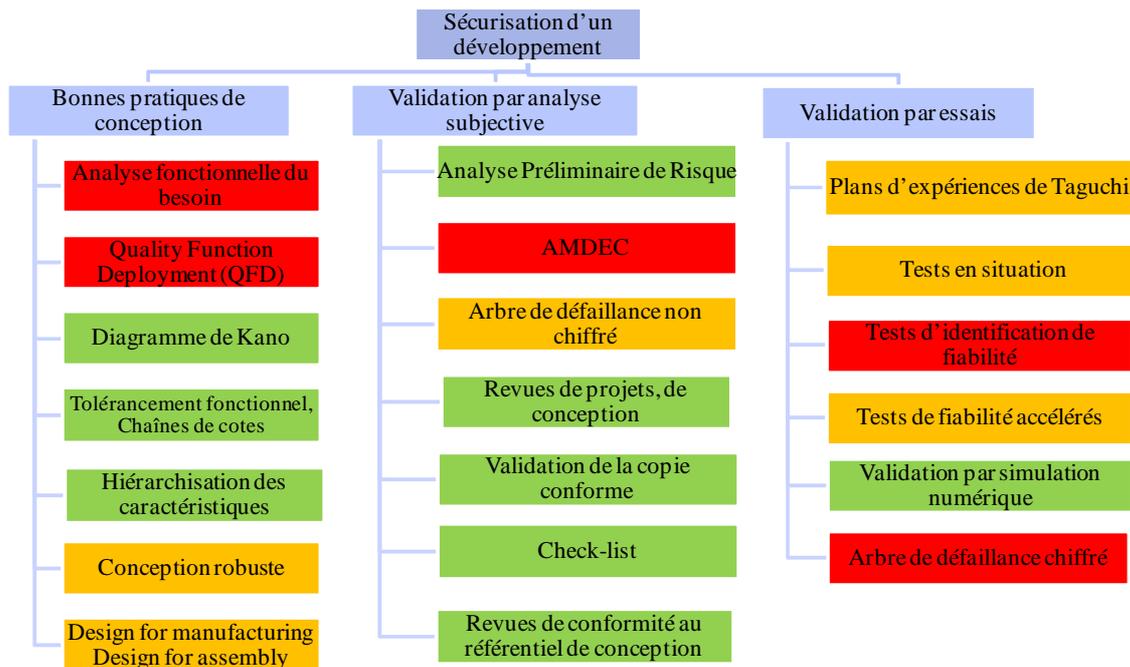


Figure 1.1 : Méthodes et outils de sécurisations d'un développement

Face à cette kyrielle d'outils et méthodes, nous avons choisi de ne développer dans ce chapitre que les principaux classiquement mis en œuvre dans toute démarche de Sureté de fonctionnement, les autres pourront cependant être cités ou présentés succinctement en fonction de leur intérêt ou apport ponctuel.

Ainsi, lorsqu'on désire rechercher les défaillances d'un produit du à sa conception, l'approche classique consiste à regarder le plan dudit produit et à se poser la question « qu'est-ce qui pourrait ne pas marcher là-dedans ? ».

Cependant, faire un produit qui fonctionne parfaitement, sans défaillance et ce pendant longtemps, ne sert absolument à rien si ce produit ne répond pas complètement aux attentes du marché. Aussi, les approches de Sureté de Fonctionnement commencent par une bonne définition des attentes du client. Ces attentes peuvent être décrites de façon intuitive mais une méthodologie plus systématique reste évidemment plus appropriée. Cette méthodologie, c'est l'analyse fonctionnelle [Villemeur, 1988] [PSA, 1997] [AFNOR, 2000] dont la donnée de sortie est un cahier des charges fonctionnel [PSA, 1998] en bonne et due forme.

L'Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) a pour objet d'analyser les défaillances du produit en phase conception et donc de vérifier l'adéquation du produit conçu au cahier des charges du client avant sa mise en fabrication. En France, ce type d'AMDEC est classiquement appelé AMDEC Produit.

Mais, les AMDEC, très performantes en termes d'analyse de risque, sont souvent critiquées à cause du temps passé pour les réaliser. C'est pour palier à cet inconvénient qu'une méthodologie, certes moins forte en termes de puissance d'analyse, mais moins gourmande en termes de temps, est apparue. Cette méthodologie, utilisée pour mettre en évidence les

principaux risques très tôt dans le cycle de développement, a pris le nom d'Analyse Préliminaire de Risques [Mabrouck, 1997] (APR).

Cependant, l'APR comme l'AMDEC produit ne sont pas des outils de recherche de causes mais plutôt des outils de hiérarchisation des risques afin de paramétrer les études de SdF à mener par la suite (pour l'APR) ou pour définir les défaillances qui mériteraient la mise en œuvre d'actions correctives (pour l'AMDEC Produit).

Pour rechercher les causes de manière exhaustive, l'outil le plus approprié est l'arbre de défaillance. C'est un outil qui permet d'analyser la combinatoire des causes qui amènent à un événement redouté client par une série de ET, et de OU. Aussi, c'est un outil indispensable dans la maîtrise des défaillances fortement impactantes pour le client comme par exemple les défaillances sécuritaires.

Ainsi, l'analyse fonctionnelle constituant le point de départ de l'analyse de risque en conception, elle fera l'objet du premier paragraphe de ce chapitre. Le deuxième paragraphe décrira l'Analyse Préliminaire de Risques (APR), le troisième sera dédié à l'AMDEC Produit et le quatrième à l'arbre de défaillance.

2. L'analyse fonctionnelle

La norme de vocabulaire ISO 9000 [ISO, 2005] stipule que la qualité est : « l'aptitude d'un ensemble des caractéristiques intrinsèques à satisfaire des exigences ».

Evidemment, pour faire de la qualité et satisfaire les exigences de ses clients, il faut déjà les connaître !

Comme le précise le groupe PSA dans sa procédure interne [PSA, 1997], l'analyse fonctionnelle est un outil qui « décrit de façon exhaustive les fonctions à réaliser pour satisfaire les besoins réels de l'utilisateur ».

Son principe est de considérer l'objet de l'étude comme une boîte noire, et de le placer dans son environnement d'utilisation pour décrire ce qu'il doit faire, faisant abstraction des solutions. Si l'analyse fonctionnelle doit conduire aux bons choix, elle ne les décrit pas !

Plusieurs approches et formalismes sont décrits dans la littérature. Citons notamment l'approche anglo-saxonne SADT (Structured Analysis of Design Technique) proposée par Doug ROSS au début des années 80 [Ross, 1985] et sa dérivée SA-RT (Structured Analysis and Real Time) plus spécialement dédiée aux systèmes temps réels ; cependant, nous retiendrons de la norme d'analyse de la valeur NF EN 12973 [AFNOR, 2000] l'approche développée par le cabinet APTE [Bretesch, 2000] (le nom de ce cabinet veut dire : Application aux Techniques d'Entreprise). Cette approche se déroule en 6 phases :

- Phase 1 : Définir les limites du système.
- Phase 2 : Valider le besoin du système.
- Phase 3 : Rechercher les situations de vie
- Phase 4 : Par situation de vie, lister les environnants au système.
- Phase 5 : Rechercher les relations entre le système et ses environnants : les fonctions
- Phase 6 : Libeller ces fonctions

- Phase 7 : Caractériser ces fonctions : le cahier des charges fonctionnel

Pour une meilleure compréhension de la méthode, nous illustrerons la démarche au travers un exemple : le rasoir jetable.

2.1. Phase 1 : Définir les limites du système

Plaçons-nous dans une approche d'ingénierie système. Pour cette approche, le produit doit être découpé en strates (système, sous-système, sous-sous système, etc...). Le principe de cette approche est le suivant :

« La conception d'un niveau consiste à spécifier les niveaux inférieurs pour répondre aux spécifications des niveaux supérieurs ».

Ce principe peut être représenté par le célèbre cycle en V, la partie gauche du V correspondant aux phases de spécifications, la partie droite aux phases de validation comme le montre le dessin ci-après :

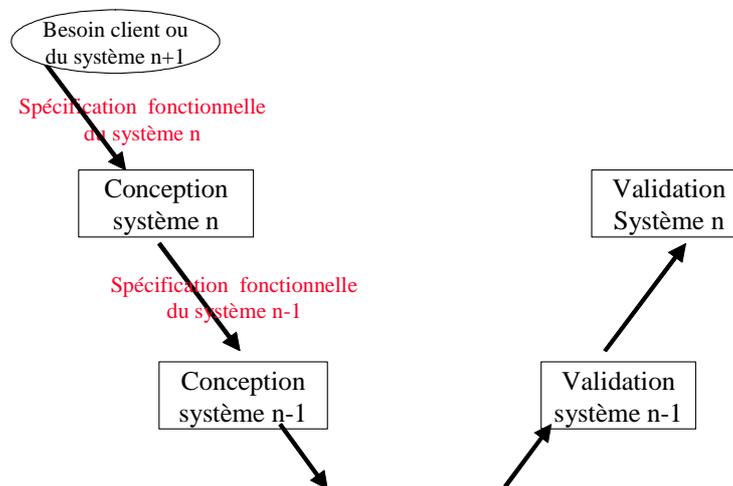


Figure 1.2 : Analyses fonctionnelles et cycle en V

Ainsi, plaçons-nous comme étant un fabricant de rasoirs jetables, notre client nous demande de développer un nouveau rasoir pour l'intégrer dans son « kit de rasage ». La décomposition hiérarchique de ce kit pourrait être représentée de la façon suivante :

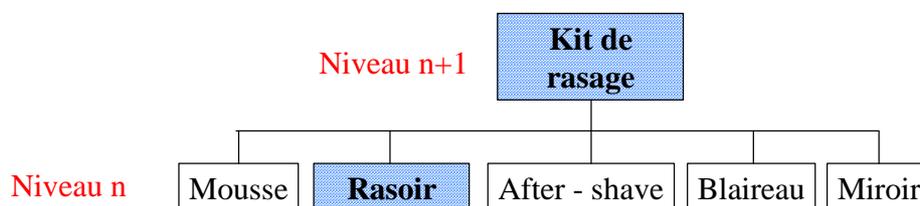


Figure 1.3 : Découpage PBS du rasoir

En gestion de projet, ce type de décomposition est appelé découpage PBS pour « Product Breakdown Structure » et sert de base à la construction de l'organigramme des tâches WBS (pour « Work Breakdown Structure ») [Zachman, 1987], élément constitutif du mode de détermination de la durée d'un projet par un réseau PERT [Castro, 2008].

Dans notre approche, nous reprenons ce type de représentation pour montrer ce qu'est notre système (le rasoir) et ce qui n'en fait pas partie (la mousse, le blaireau, etc...).

Cette représentation montre bien que c'est le niveau N+1 qui spécifie les limites du système N. C'est notamment au niveau des interfaces que cette définition des limites est importante. Ainsi, dans le cadre d'un accouplement mécanique par exemple, c'est le niveau N+1 qui définira quel système comportera la partie femelle, et quel autre comportera la partie mâle.

Cette définition des limites sera bien évidemment reprise dans le cahier des charges fonctionnel émis par le niveau N+1.

2.2. Phase 2 : Validation du besoin du système

Avant de se lancer dans la conception d'un nouveau système, il est évident qu'il est intéressant de se poser la question de son utilité et de la pérennité de celle-ci. Comme le précise Subir CHOWDHURY dans son livre intitulé « *Design For Six Sigma* » [Chowdhury, 2003], C'est à dessin que le cabinet APTE a développé un petit outil pour valider le besoin du système. Cet outil a été appelé « bête à cornes » en liaison avec son mode de représentation :

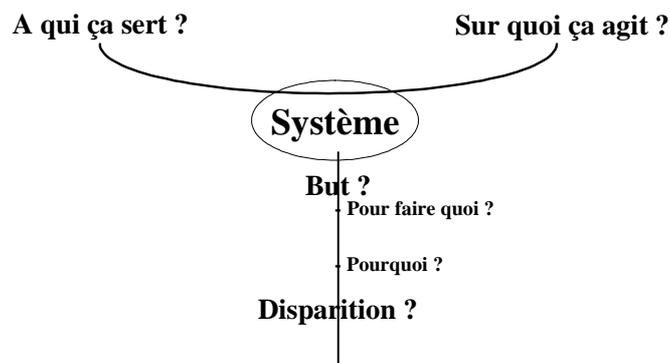


Figure1.4 : « Bête à cornes »

En haut à gauche, on répond à la question : « A qui ça sert ? »

Il s'agit là de définir le client premier du système. Evidemment, s'il n'y a pas de client, c'est que le système ne servira à rien.

Dans le cas de notre rasoir, la réponse pourrait être : « au kit de rasage » qui est notre premier client, c'est-à-dire notre niveau n+1 dans le découpage hiérarchique de notre produit.

La réponse pourrait également être : « A l'homme adulte ». Ici, on est remonté tout en haut de la chaîne des clients.

C'est le groupe de travail qui définira quel est le niveau d'abstraction idéal pour la réponse.

En haut à droite du dessin, on répond à la question : « Sur quoi ça agit ? »

L'objet est ici de définir quel environnement principal sera modifié par notre système. Si notre système ne doit modifier aucun environnement, encore une fois c'est qu'il ne servira à rien.

Dans l'exemple de notre rasoir, la réponse pourrait être : « Les poils ».

Au centre du dessin, on se pose la question de l'objet du système. En répondant au double pourquoi (pour quoi et pourquoi).

La question « Pour faire quoi ? » doit préciser l'objet du système, que doit-il faire précisément. Encore une fois, s'il ne fait rien, c'est qu'il ne sert à rien. Pour notre rasoir, la réponse serait : « Couper les poils ».

Mais il faut également se poser la question du pourquoi en un seul mot. C'est cette question qui va nous amener à réfléchir sur le but premier du système. Pour un rasoir, la réponse pourrait être : « pour être plus beau » ou « parce que les poils poussent ».

La dernière question concerne la disparition du système. Cette question sert à étudier la pérennité du système.

Quatre points peuvent entraîner la disparition de notre système :

- Le premier concerne le client. Ainsi, si on perd notre client « kit de rasage », notre rasoir spécifique n'aura plus lieu d'être.
- Le deuxième concerne l'environnant décrit en haut à droite de la bête à cornes. Si cet environnant disparaît, encore une fois, le produit perd sa raison d'être (plus de poils, plus de rasoirs !)
- Le troisième concerne la question « pour quoi ». En effet, si on arrive à faire la même chose d'une autre manière et pour moins cher, notre produit risque d'être considéré obsolète et ne se vendra plus. A terme, il disparaîtra. Imaginons par exemple un système d'épilation simple, pas cher, rapide et sans douleur ; nul doute que le bon vieux rasoir mécanique risque d'être renvoyé au musée.
- Le quatrième et dernier point est relatif à la question « pourquoi ». En effet, si on perd l'objet premier du système, encore une fois, à terme, c'est le système lui-même qui perd sa raison d'être. Ainsi, si les critères d'esthétique évoluent de telle sorte que le port de la barbe devienne la référence, les fabricants de rasoirs risquent de voir leur chiffre d'affaire s'effondrer.

Ainsi, si les points disparitions semblent porter une probabilité faible, l'entreprise est confortée dans sa décision de se lancer dans le développement du nouveau produit. Dans le cas contraire, le projet sera stoppé ou réorienté.

Pour notre exemple, nous pouvons considérer que le besoin en rasoir est pérenne, l'étude vaut donc a priori le coup d'être poursuivie....

2.3. Phase 3 : Rechercher les différentes situations de vie

Les situations de vie représentent les différentes phases dans lesquelles se trouvera le produit tout au long de son existence, chacune d'entre elles pouvant influencer sur son design.

Le schéma des phases de vie de notre rasoir pourrait être le suivant :

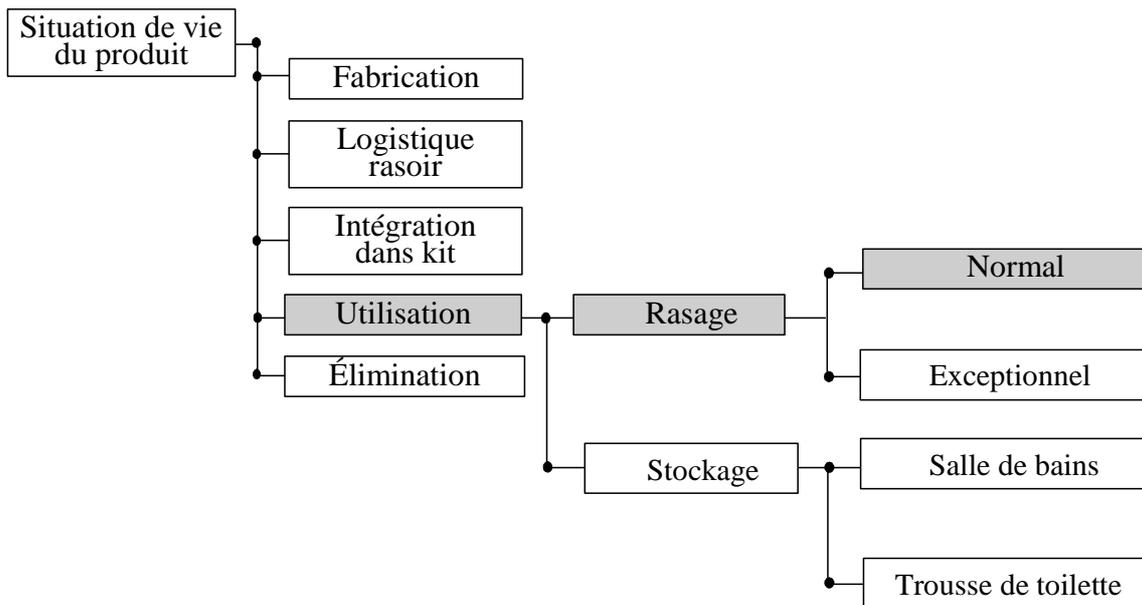


Figure 1.5 : Situations de vie du rasoir

Plus le groupe descendra bas dans les sous-situations de vie, plus l'analyse sera fine et précise ; cependant plus elle sera longue et fastidieuse. Mais il n'existe pas de méthodologie pour définir a priori le bon niveau d'étude. Ce sera donc au groupe de travail de définir, en fonction de son expérience et de son ressenti, le niveau qui lui semble le plus adapté pour son étude.

Si l'analyse fonctionnelle est menée dans le seul but d'avoir une donnée d'entrée pour réaliser une analyse de risque style AMDEC, le groupe choisira la ou les situations de vie a priori les plus risquée et ne poursuivra l'analyse que sur lesdites situations. Mais si l'analyse fonctionnelle est faite dans son but premier qu'est la recherche des besoins du client en vue de rédiger un cahier des charges fonctionnel, toutes les situations en bout de branches devront être étudiées telles que ci-après pour constituer un cahier des charges le plus exhaustif possible.

2.4. Phase 4 : Lister les environnants du système

Cette phase consiste à rechercher les éléments physiques qui sont en relations avec le système dans la situation de vie étudiée. Ces éléments peuvent être les autres composants du système de niveau n+1 (la mousse à raser), l'ambiance dans laquelle se trouve notre système (l'air ambiant), l'utilisateur du système (l'homme) ou l'environnant qui doit être modifié (les poils).

Un environnement doit être un élément physique, on doit pouvoir le « toucher » mais ne pas oublier les environnants comme les énergies, l'ambiance (température, poussières, etc...), ...

Ainsi, dans notre exemple, les environnants pourraient être les suivants :

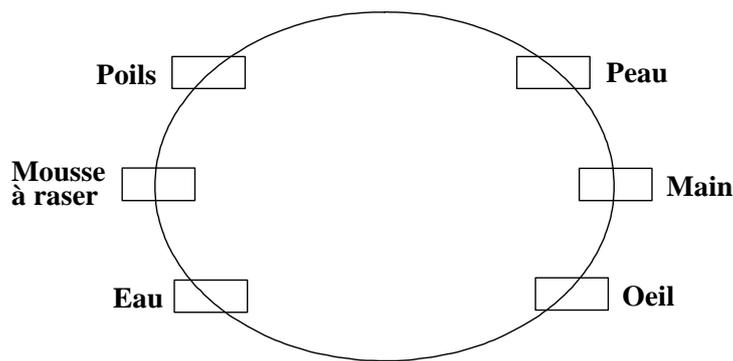


Figure 1.6 : Environnants du rasoir dans la situation de vie « rasage »

Attention lors de cette phase à ne pas faire l'erreur classique qui consiste à mettre des fonctions (ne pas rouiller) ou des critères de performance (qualité perçue) comme environnant.

2.5. Phase 5 : Rechercher les fonctions du systèmes

Les fonctions constituent les relations entre le système et ses environnants, elles sont généralement classées en deux catégories : les fonctions de service et les contraintes.

Les fonctions de service, aussi appelées selon les littératures fonctions principales ou fonctions d'usage, représentent l'objet du système. Le terme « principal » est une réminiscence de certaines approches qui hiérarchisaient les fonctions de service en fonctions principales qui répondent au besoin premier du système (par exemple l'action de couper) et fonctions secondaires moins primordiales pour le client (comme l'action d'hydrater). Cependant, cette hiérarchisation étant subjective, nous nous limiterons dans notre approche au terme de fonction de service retenu dans la norme NF EN 12973 [AFNOR, 2000], qui regroupe les deux notions.

C'est pour ces fonctions de service que le client est prêt à déboursier de l'argent. Elles relient deux environnants au travers du système. Ainsi, le système permet à l'environnant 1 (la main) de modifier l'environnant 2 (les poils).

Les fonctions contraintes, quant à elles ne relient qu'un environnant au système. Généralement, elles représentent les contraintes auxquelles le système doit résister. Elles ne constituent pas l'objet du système aussi ce n'est pas pour elles que le client va acheter le système, cependant, elles peuvent participer de façon non négligeable à son coût. Aussi, le meilleur produit serait celui qui n'aurait que des fonctions principales et pas de contraintes. Ce produit ne pouvant être qu'immatériel, n'existe malheureusement pas.

Fonctions de services et fonctions de contraintes sont représentées dans un schéma appelé « pieuvre » comme le montre l'exemple suivant :

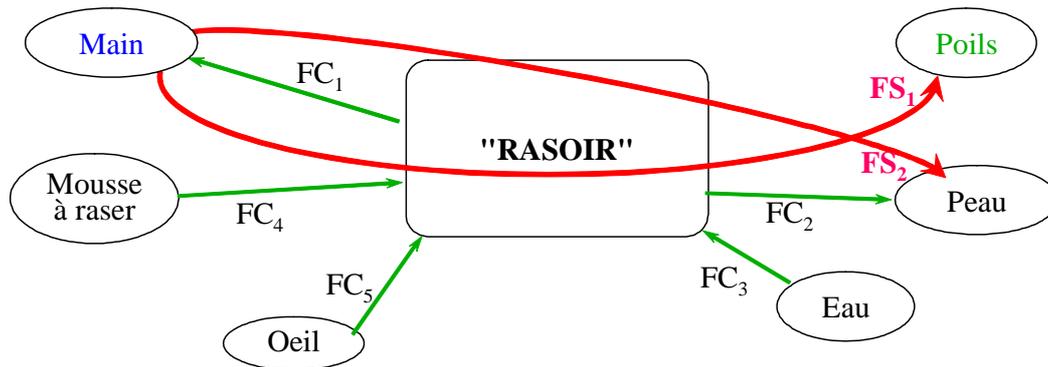


Figure 1.7 : Pieuvre du rasoir en situation de vie « rasage »

2.6. Phase 6 : libeller les fonctions

Comme toute phrase, le libellé des fonctions est constitué de la construction classique : sujet, verbe, compléments.

- Le sujet, c'est le système. C'est celui qui se trouve dans la bulle centrale de la pieuvre. Comme le sujet va de soit, il n'est généralement pas écrit ; cependant, pour les débutants en analyse fonctionnelle, nous conseillons de l'écrire afin d'éviter qu'il ne glisse sur un autre des environnants.
- Le verbe transcrit la donnée de sortie de la fonction, ce que le produit doit faire. Aussi, les verbes seront des verbes d'action. Comme le sujet n'est généralement pas écrit, le verbe se retrouvera à l'infinitif.
- Les compléments reprennent les éléments des bulles environnantes. Ainsi, pour une fonction contrainte qui ne relie qu'un seul environnant au système, il n'y aura qu'un seul complément dans la phrase ; alors que pour une fonction de service, la phrase contiendra deux compléments correspondant aux deux environnants.

Ainsi la fonction de service n°1 pourra être libellée de la façon suivante :

« Couper les poils avec la main ».

Cependant, pour une meilleure compréhension de la phrase, le verbe « permettre » pourra être rajouté, libellant la fonction de la fonction suivante :

« Permettre à la main de couper les poils ».

En utilisant la même approche pour l'ensemble des fonctions de notre rasoir, chacune des fonctions pourra être libellée de la façon telle qu'écrit ci-après :

- * FP₁ : (le rasoir) permet à la main de couper les poils
- * FP₂ : (le rasoir) permet à la main d'hydrater la peau
- * FC₁ : (le rasoir) doit être préhensible par la main
- * FC₂ : (le rasoir) doit préserver la peau
- * FC₃ : (le rasoir) doit résister à l'eau
- * FC₄ : (le rasoir) doit résister à la crème

* FC₅ : (le rasoir) doit **plaire à l'œil**

Pour une meilleure compréhension du lecteur, nous avons mis les parties verbales en rouge et les compléments en bleu ou vert pour rappeler les couleurs utilisées dans la pieuvre pour chaque environnant. Cette approche par couleur est très pratique pour conserver un certain lien entre toutes les étapes de l'analyse fonctionnelle.

2.7. Phase 7 : Caractériser les fonctions

Cette phase consiste à définir des critères de performance pour chacune des fonctions définies ci-dessus, d'en définir les niveaux attendus ainsi qu'une flexibilité (niveau de négociation possible). En ce sens elle constitue la meilleure façon d'écrire le cahier des charges.

Les critères de performance correspondant à la partie verbale qualifient les données de sortie de la fonction, ce qu'on attend du système. A contrario, les critères de performance associés aux parties nominales servent à qualifier l'environnant correspondant, ils décrivent donc les données d'entrée de la fonction.

Ainsi, dans le cadre d'une démarche de validation, l'expérimentateur se placera dans les conditions décrites par les critères associés aux parties nominales, il ira évaluer les critères correspondant aux parties verbales et prononcera la qualification du produit si les niveaux desdits critères sont atteints.

Attention à ne pas définir trop de critères nouveaux lorsqu'on est dans le cadre d'une évolution de produit. En effet, si l'évolution est trop forte, le produit risque d'être trop long et trop cher à développer. A l'inverse, si les évolutions sont trop faibles, le client risque de ne pas être capable de voir la différence avec le produit de génération précédente et ne sera donc pas tenté d'acheter le nouveau système [Gautam, 2008]. Tout est donc affaire de dosage entre fonctionnalités nouvelles et coût de développement.

Pour mesurer le niveau d'évolution du produit, on peut retenir l'indicateur d'évolution proposé par Javier FREIRE and Luis F. ALARCO [Freire, 2002] :

$$\text{Critère}_{\text{évolution}} = \frac{\text{Nombre_de_critères_modifiés} / \text{CdC_génération_précédente}}{\text{Nombre_de_critères_du_CdC_génération_précédente}}$$

- Si ce critère est inférieur à 10%, on pourra considérer que l'évolution est faible et que le nouveau système conçu ne sera qu'un « restyling » du système de génération précédente.
- Si le critère est compris entre 10 et 30%, on pourra considérer que le nouveau système est une évolution du système de génération précédente.
- Si ce critère est supérieur à 30%, le nouveau système devra alors être considéré comme une innovation majeure. Dans ce dernier cas, une étude de marché est vivement conseillée avant de décider du lancement du processus de développement.

A chaque critère de performance est associé un niveau. Ce niveau doit être toléré pour permettre au concepteur d'évaluer sa capacité [AFNOR, 1995]. Pour éviter les contestations liées à de possibles différences d'interprétation des niveaux, il convient d'éviter au maximum les critères subjectifs.

Déterminer un niveau pertinent n'est pas toujours chose aisée. En effet, généralement, plus le niveau est élevé, plus le coût de la fonction sera élevé mais plus fort devrait être le niveau

de satisfaction du client et l'attractivité du produit. Définir le niveau est donc un savant équilibre entre coût et positionnement du produit sur le marché. Le diagramme de Kano [Kano, 1984] qui positionne le produit en termes de performance technique et de valorisation client est un outil marketing qui peut aider le groupe à définir un niveau idoine.

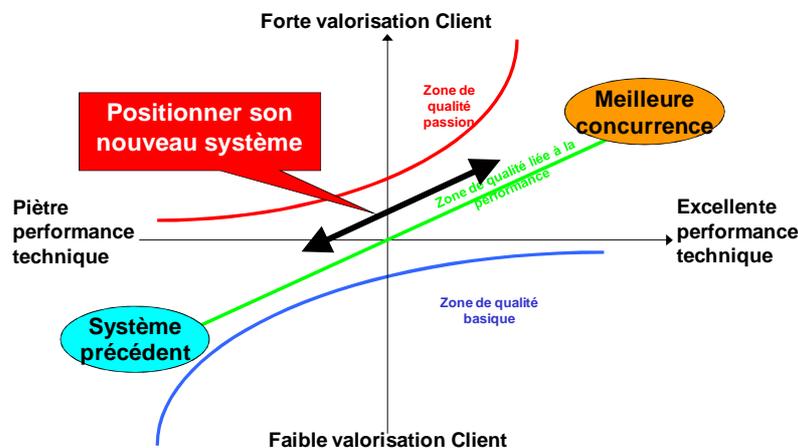


Figure 1.8 : Diagramme de Kano

A chaque critère est également associé un niveau de négociation possible entre le spécificateur et le concepteur. Ce niveau de négociation est aussi appelé « flexibilité ».

Quatre niveaux de flexibilité sont retenus dans la norme NFX 50-151 [AFNOR, 2007] :

- * F0 : Flexibilité nulle : Niveau impératif.
- * F1 : Flexibilité faible : Niveau peu négociable.
- * F2 : Flexibilité bonne : Niveau négociable.
- * F3 : Flexibilité forte : Niveau très négociable.

Bien que fort peu utilisée (le spécificateur ayant souvent trop peur que le concepteur profite d'un niveau de négociation possible pour proposer un produit moins performant qu'attendu), la flexibilité est une notion très intéressante dans le cadre d'une démarche d'analyse de la valeur [AFNOR, 2007]. C'est elle qui permet d'organiser le dialogue dans la recherche d'une véritable optimisation. L'absence de cette flexibilité peut conduire le rédacteur du Cahier des Charges fonctionnel à spécifier des niveaux surévalués, ce qui irait à l'encontre de l'optimisation recherchée.

Pour aider le spécificateur à définir les niveaux de flexibilité, nous proposons l'échelle suivante, notamment valable dans le cadre de la conception d'un système complexe :

- F3 : Flexibilité forte : La modification du niveau correspondant au critère de performance n'a pas d'interactions avec les autres systèmes de même niveau dans le découpage hiérarchique du produit (PBS) => décision par le chef de projet du système concerné seul.
- F2 : Flexibilité bonne : La modification du niveau associé au critère impacte les autres systèmes de même niveau dans le PBS => le chef de projet du système concerné doit négocier la modification avec ses homologues des autres systèmes de même niveau, la décision finale étant prise par le chef de projet du système de niveau N+1.
- F1 : Flexibilité faible : La modification du niveau du critère impacte la performance globale du programme => Décision par le chef de programme.

- F0 : Flexibilité nulle : Impact réglementaire ou sécuritaire => Pas de négociation possible sur le niveau dudit critère de performance.

Un extrait du cahier des charges relatif à notre rasoir pourrait être le suivant :

		Cahier des Charges Fonctionnel			
		Produit : Rasoir Référence : BIC-JET	Pilote : Nicolas S. Date : 14/07/2008	Animateur : François F..	Indice : A
SV	Fonction	Groupe de mots	Critères	Niveaux	Flexibilité
Rasage	Fp1	Couper	Temps de coupe	5 min ± 2 min	F1
			Effort de coupe	20N maxi	F2
			Durabilité	1 an mini	F3
			Coupures intempestives	< 10 ⁻⁹ coupure / rasage	F0
			MTTF (Fiabilité)	10 rasages ± 2	F1
	Main	% gaucher	20% ± 3%		
		Acidité	Ph = 6,2 ± 0,1		
		Poil	Longueur	3mm maxi	
	Fp2	Hydrater	Confort de rasage	> 90% hommes	F1
			Fiabilité	10 rasages ± 2	F2
			Taux d'hygrométrie surfacique de la peau	85% ± 3%	F2
		Main	% gaucher	20% ± 3%	
			Acidité	Ph = 6,2 ± 0,1	
		Peau	Surface	Visage homme adulte	
Acidité			Ph = 6,2 ± 0,1		
Fc1	....	.....	....	....

Tableau 4.27 : Cahier des charges fonctionnel du rasoir

La méthodologie décrite ci-dessus est classiquement appelée Analyse fonctionnelle externe ou analyse fonctionnelle du besoin. Cette analyse, effectuée avant la conception car théoriquement menée par le spécificateur, est généralement complétée d'une autre analyse fonctionnelle appelée « Analyse fonctionnelle interne » ou « analyse fonctionnelle technique » ; cette seconde analyse étant effectuée après design.

2.8. L'analyse fonctionnelle interne ou technique

Si l'analyse fonctionnelle externe présente le système étudié comme une « boîte noire », l'analyse fonctionnelle interne le montre comme une « boîte blanche » ou plus exactement comme une « boîte transparente » car l'analyse fonctionnelle interne nous fait pénétrer à l'intérieur de ladite boîte.

L'objet de cette analyse est de décrire comment les composants du système participent à la réalisation des fonctions. Evidemment, à ce stade, il faut avoir défini le nombre de composants et le mode de fonctionnement du système. Cette analyse s'effectue donc après conception, ou tout au moins, après une première esquisse de l'architecture du système.

Outre les étapes de constitution du groupe de travail et de définition de la finalité de l'analyse, l'analyse fonctionnelle interne comporte deux étapes techniques principales :

- * La décomposition du système.

- * L'identification des flux à l'intérieur du système.

2.8.1. Décomposition du système

L'objet de cette décomposition est de définir les éléments constitutifs (systèmes de niveau n-1) qui composent le système. Ces éléments peuvent être, suivant le niveau de détail que l'on veut atteindre, fonctionnels, organiques, voire un mélange des deux.

Le groupe PSA dans son manuel de référence traitant de l'analyse fonctionnelle Interne [PSA, 2005] préconise «d'éviter d'avoir un trop grand nombre d'éléments à manipuler (10 étant déjà beaucoup) et qu'il vaut mieux alors procéder par décompositions successives, chaque élément de la décomposition étant à son tour décomposé en ses constituants, et ainsi de suite jusqu'au niveau de détail souhaité ».

Dans le cadre de l'ingénierie système, on considère les systèmes de niveau n-1 comme étant les systèmes que l'on dessine en interne ou qui font l'objet d'un cahier des charges à destination d'une autre entité (entité pouvant appartenir à la société ou être extérieure).

En terme de représentation, nous préconisons de reprendre le découpage PBS utilisé pour la première étape de l'analyse fonctionnelle externe, complété des composants de niveau n-1 comme le montre le dessin ci-après :

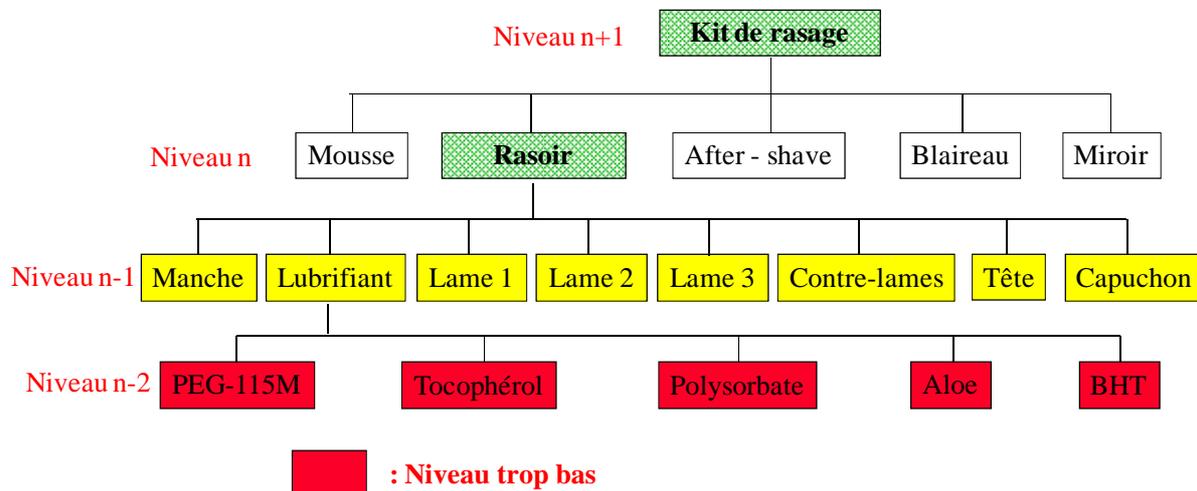


Figure 1.9 : Découpage PBS du rasoir

2.8.2. Identification des flux à l'intérieur du système

L'objet de cette étape est de définir comment chaque fonction définie lors de l'analyse fonctionnelle externe, est réalisée par les différents « composants ». En intégrant les composants dans la bulle centrale de la pieuvre, on représente le chemin suivi par chacune des fonctions. Ce chemin représente les flux à l'intérieur du système, flux qui, d'après les règles usuelles de la systémique, sont de trois types :

- * Matière : transport de matière
- * Énergie : transport d'énergie
- * Information : transport d'information (ce dernier type nécessitant en outre l'existence d'un flux d'un des types précédents).

Les fonctions sont alors matérialisés dans le dessin par des traits représentant les contacts entre les éléments eux-mêmes, et entre les éléments et les différents environnants ; un

contact pouvant être réel (matérialisé, physique) ou virtuel (contact visuel, électromagnétique,...). Un tel schéma est alors classiquement appelé « bloc diagramme fonctionnel ».

Dans le cas de systèmes très complexes, il est conseillé pour ne pas surcharger les dessins, de représenter les fonctions une par une sur des schémas indépendants pourvu que l'ensemble soit complet (un schéma pour la première fonction de service, un pour la seconde, un pour les fonctions contraintes, etc...).

Sur le schéma ci-après, et pour des raisons de lisibilité, nous avons représenté les fonctions contraintes par des renvois associés à des symboles géométriques. De plus, nous avons grisé les composants reconduits du produit de génération précédente, afin d'aider le groupe de travail à repérer les composants innovants lors des analyses de risque.

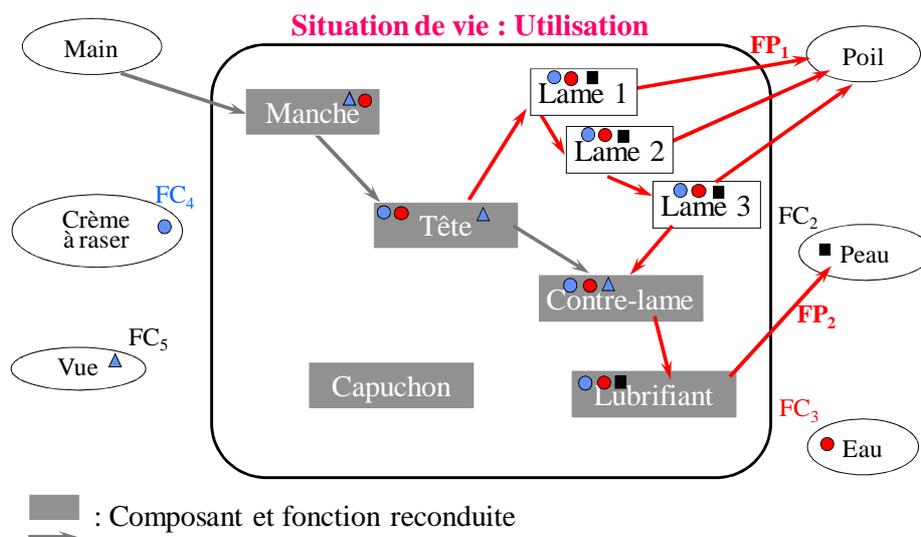


Figure 1.10 : Bloc diagramme du rasoir en situation de vie « rasage »

Sur un tel schéma, on peut repérer des éléments (comme le capuchon dans notre exemple) qui ne sont reliés à rien d'autre dans la situation considérée. Cela ne signifie pas encore qu'ils sont inutiles. Il se peut en effet qu'ils ne rendent service que dans une autre situation de vie non encore analysée.

Par contre, un élément qui ne participe à aucune fonction, et ce dans toutes les situations de vie, est un élément qui ne sert à rien. Cependant, même si il ne sert à rien, il a tout de même un coût qui impactera inutilement le coût global du produit.

Même si ce recueil est focalisé sur les analyses de défaillances, on voit ici que l'outil analyse fonctionnelle est un outil incontournable pour l'analyse de la valeur.

Une représentation telle que le bloc diagramme fonctionnel peut être délicate à réaliser, notamment pour les systèmes complexes où les flèches représentant les fonctions à l'intérieur du système risquent d'être trop nombreuses. Aussi, la participation des composants à la réalisation des fonctions peut être résumée dans un tableau appelé « Tableau d'Analyse Fonctionnelle » (TAF).

Dans le cas de notre rasoir, le TAF correspondant pourrait être le suivant :

Fonction Composant	Fp1	Fp2	Fc1	Fc2	Fc3	Fc4	Fc5
Manche	X	X	X		X		X
Tête	X	X		X	X	X	X
Contre-lames	X	X		X	X	X	X
Lame 1	X			X	X	X	
Lame 2	X			X	X	X	
Lame 3	X			X	X	X	
Capuchon							X
Lubrifiant		X		X	X	X	

Tableau 1.1 : Tableau d'analyse fonctionnelle du rasoir

Ainsi, on pourra utiliser, selon ses préférences :

- soit le bloc diagramme fonctionnel, plus intuitif et plus imagé mais plus compliqué à dessiner avec un ordinateur.
- soit le tableau d'analyse fonctionnel, plus facile à réaliser avec un tableur type EXCEL qui est peut être une représentation plus sûre pour de ne rien oublier. En effet :
 - * toute fonction doit être affectée à un composant au moins.
 - * tout composant doit participer au moins à une fonction.

Ainsi, cette dernière représentation est un des outils essentiels pour l'optimisation de la conception. Par exemple en analyse de la valeur, la contribution de chaque composant sera affectée en termes de coût. Il est également possible d'évaluer cette contribution en tout autre grandeur d'intérêt pour l'étude en cours comme par exemple la masse, ou la probabilité intrinsèque de défaillance utilisée en AMDEC Produit dans son approche « composant ».

3. L'Analyse Préliminaire de Risques

Comme le précise Habib HADJ-MABROUK [Mabrouck, 1997], « l'Analyse Préliminaire de Risques (APR) a pour but :

- D'identifier les accidents potentiels susceptibles d'affecter le système.
- De mettre en évidence les causes envisageables des accidents potentiels.
- D'évaluer la probabilité d'occurrence des accidents potentiels et la gravité des dommages qu'ils pourraient causer.
- De déterminer les mesures qui permettront de réduire la probabilité des accidents potentiels ou la gravité des dommages qu'ils pourraient causer. ».

L'APR se présente classiquement sous la forme d'un tableau à colonnes facilement réalisable avec un tableur type EXCEL. C. LIEVENS [Lievens, 1976] dans son recueil intitulé « Sécurité des systèmes » propose le formalisme suivant :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sous-système ou fonction	Phase	Eléments dangereux	Événement causant une situation dangereuse	Situation dangereuse	Événement causant un accident potentiel	Accident potentiel	Conséquences	Classification par gravité	Mesure préventives	Application de ces mesures

Tableau 1.2 : Formalisme APR proposé par C. LIEVENS

Cependant, la ressemblance entre les notions d'éléments dangereux, de situation dangereuse, d'accident potentiel et de conséquence fait qu'un tableau de ce type nous semble difficile à utiliser correctement par les équipes de conception. Dans son recueil, LIEVENS lui-même en convient en écrivant page 127 : « Il ne faut pas chercher de définitions claires permettant de distinguer sans ambiguïté laquelle des colonnes 3, 4, 5, 6, 7 convient pour placer un événement particulier ».

Du formalisme proposé par C. LIEVENS, nous préférons un formalisme plus simple inspiré de la procédure du groupe PSA [PSA, 1999]. Cette procédure propose deux approches complémentaires pour la réalisation des ARP :

- une **approche fonctionnelle** : analyse des conséquences des défaillances des fonctions du système,
- une approche agression :
 - * Analyse des conséquences des **agressions du système vers l'extérieur** (éléments potentiellement dangereux),
 - * Analyse des conséquences des **agressions du milieu extérieur vers le système** (éléments sensibles).

3.1. L'APR approche fonctionnelle

L'approche fonctionnelle a pour objet d'étudier les conséquences de chaque mode de défaillance des fonctions décrites dans l'analyse fonctionnelle, elle est donc effectuée pour chaque fonction du système dans chaque situation de vie.

Par mode de défaillance on entend :

- L'absence de fonction a la sollicitation (ça ne marche pas).
- La perte de fonction en fonctionnement (ça ne marche plus).
- Le fonctionnement dégradé (ça marche mal)
- Le fonctionnement intempestif (ça marche alors qu'on a rien demandé).
- Le fonctionnement intermittent (ça s'arrête et ça repart tout seul).

L'impact de chacun des modes de défaillance sera décrit au travers le tableau suivant :

Système :							Page :				
Situation de vie :					Pilote :			Date :			
Fonction	Mode de défaillance de la fonction	Événement initiateur	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté	G	F	Actions de maîtrise des risques		G'	F'	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		

Tableau 1.3 : Formalisme APR fonction proposé par PSA

Dans la colonne 1 seront reprises toutes les fonctions décrites dans l'analyse fonctionnelle. Même si l'analyse de l'ensemble des fonctions, fonctions de services comme fonctions contraintes, peut paraître trop long, nous suggérons de ne pas éliminer de fonctions a priori à cette étape, notamment les fonctions contraintes. En effet, la perte de certaines fonctions contraintes peut entraîner de graves dysfonctionnements dans la vie future du système. Ainsi, c'est par l'APR que le concepteur pourra objectiver le fait de ne pas retenir telle ou telle fonction dans ses analyses futures telles que les AMDEC.

Dans la colonne 2 seront notés les modes de défaillances des fonctions demandées au système. Pour tendre vers l'exhaustivité de l'analyse, l'animateur doit faire attention à bien prendre en compte l'ensemble des modes de défaillance tels que noté plus haut (absence, arrêt, dégradé, intempestif et intermittent). Mais, certains modes de défaillances peuvent paraître impossibles (le rasoir ne coupe pas) ou complètement farfelus (le rasoir coupe en bandes correspondant à un fonctionnement intermittent). Il va de soi que ces modes de défaillances ne seront pas analysés. Cependant, pour montrer au client (ou aux personnes qui seraient susceptibles de reprendre l'analyse par la suite) que l'analyse a été menée de façon méthodique, nous conseillons de noter l'ensemble des modes de défaillance du système et de mettre la mention « sans objet » sur les lignes correspondant aux modes de défaillances impossible.

Le tableau ci-après montre les modes de défaillance inhérents à notre rasoir jetable :

Système : Rasoir Bic-Jet					Page : 1				
Situation de vie : Rasage				Pilote : Nicolas S.					
				Date : 15/08/08					
Fonction	Mode de défaillance de la fonction	Événement initiateur	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté	G	F	Actions de maîtrise des risques	G'	F'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FP1 : permet à la main de couper les poils	Ne rase plus (arrêt fonction)								
	Rase mal (fonction dégradée)								
	Coupe sans qu'on le demande (fonction intempestive)								
	Ne rase pas (Absence de fonction à la sollicitation)			Sans objet					
	Rase de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet					
FP2 : Permet à la main d'hydrater la peau	N'hydrate pas (Absence de fonction à la sollicitation)								
	N'hydrate plus (arrêt fonction)								
	Hydrate mal (fonction)								
	Hydrate sans qu'on le demande (fonction intempestive)			Sans objet					
	Hydrate de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet					
FC1 : Doit être préhensible par la main	N'est plus préhensible par la main (arrêt de fonction)								
	Est mal préhensible par la main (fonction dégradée)								
	N'est pas préhensible par la main (absence de fonction)			Sans objet					
	Est préhensible par la main sans qu'on lui demande (fonction intempestive)			Sans objet					
	Est préhensible de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet					

Tableau 1.4 : Modes de défaillance du rasoir

La colonne 3 décrit le ou les événements initiateurs qui pourraient entraîner le mode de défaillance. L'événement initiateur se situe au niveau N-1 par rapport système dans le découpage hiérarchique du produit (PBS). Aussi, l'événement initiateur correspond à la défaillance d'un des composants ou la désolidarisation d'une des liaisons inter-composants du système, générées soit par une mauvaise fabrication ou montage dudit composant, soit par une défaillance intrinsèque de ce composant ou liaison par sous-dimensionnement ou par sur-sollicitation (par rapport au niveau défini dans le cahier des charges).

Dans la colonne 4, on recherche l'impact de l'événement initiateur, tout d'abord sur le système, puis sur l'ensemble des systèmes N+1, N+2, ..., N+k (niveau correspondant au système détenu par le client utilisateur dans la situation de vie étudiée). C'est ce que PSA appelle la « description du scénario ».

Attention, l'analyse préliminaire de risque se doit d'être une étude rapide ayant pour but de repérer les macro-risques majeurs inhérents au système. Aussi, il n'est pas nécessaire de fouiller la description de ces colonnes 3 et 4, l'analyse serait alors trop proche d'une AMDEC ; mais de forcer le groupe à réfléchir en terme de robustesse du système pour objectiver la note de fréquence renseignée dans la colonne 7.

La colonne 5 décrit l'événement redouté par le client. Par client, on entend l'utilisateur final du macro-système dans la situation de vie étudiée.

L'événement redouté s'exprime donc en termes de gêne pour le client, allant depuis un léger agacement jusqu'à la non possibilité d'utiliser son système, voire jusque l'atteinte de intégrité de lui-même ou de ses proches en passant par la dégradation d'autres systèmes de son entourage (dégâts matériels) pour les systèmes sécuritaires.

Le tableau ci-après présente la partie qualitative de l'analyse préliminaire de risque qu'aurait pu réaliser un groupe d'analyse de notre rasoir jetable :

Système : Rasoir Bic-Jet					Page : 1					
Situation de vie : Rasage				Pilote : Nicolas S.		Date : 15/08/08				
Fonction	Mode de défaillance de la fonction	Événement initiateur	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté	G	F	Actions de maîtrise des risques		G'	F'
1	2	3	4	5	6	7	8		9	10
FP1 : permet à la main de couper les poils	Ne rase plus (arrêt fonction)	Désolidarisation liaison manche / tête		Rasoir inutilisable						
	Rase mal (fonction dégradée)	Usure trop rapide des lames		Mauvais rasage						
	Coupe sans qu'on le demande (fonction intempestive)	Désolidarisation liaison corps / contre-lame	Désolidarisation des lames	Coupure de l'utilisateur						
	Ne rase pas (Absence de fonction à la sollicitation)			Sans objet						
	Rase de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet						
FP2 : Permet à la main d'hydrater la peau	N'hydrate pas (Absence de fonction à la sollicitation)	Mauvaise accroche de la plaquette lubrifiante sur la tête	Perte de la plaquette lubrifiante en phase rangement	Rasoir inutilisable						
	N'hydrate plus (arrêt fonction)	Défaillance de la plaquette lubrifiante par dépassement de la durée de vie de la tête		Sensation de brûlure à l'utilisation						
	Hydrate mal (fonction dégradée)	Evaporation d'un composant de la plaquette lubrifiante	Perte du caractère glissant du rasoir	Sensation d'accroche à l'utilisation						
	Hydrate sans qu'on le demande (fonction intempestive)			Sans objet						
	Hydrate de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet						
FC1 : Doit être préhensible par la main	N'est plus préhensible par la main (arrêt de fonction)	Désolidarisation liaison manche / tête		Rasoir inutilisable						
	Est mal préhensible par la main (fonction dégradée)	Forme non adaptée du manche		Fatigue à l'utilisation						
	N'est pas préhensible par la main (absence de fonction)			Sans objet						
	Est préhensible par la main sans qu'on lui demande (fonction intempestive)			Sans objet						
	Est préhensible de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet						

Tableau 1.5 : Analyse préliminaire de risque partie analyse qualitative

Les colonnes 6 et 7 constituent la partie quantitative de l'analyse préliminaire de risque. Leur objet est de hiérarchiser les risques pour permettre au groupe d'analyse de prioriser ses actions.

La colonne 6 notée G comme Gravité caractérise le niveau de gêne du mode de défaillance pour le client. La note renseignée dans cette colonne découle donc directement de l'impact client défini dans la colonne 5.

En APR, les notes de gravité sont classiquement évaluées sur une échelle de 1 à 4 ; 4 correspondant à la gêne la plus forte pour le client (et donc aux problèmes de sécurité dans le cas de systèmes présentant un caractère sécuritaire) et 1 à l'impact le plus faible.

Pour limiter la variabilité dans la cotation, il est conseillé de constituer des grilles de cotation les plus objectivées possibles. Cependant, il a été impossible au normalisateur de définir des grilles idéales qui seraient utilisables par chacun. En effet, les impacts étant forcément différents entre la défaillance d'une fusée ou d'un stylo, les grilles doivent être construites en fonction du type de produits (ou du secteur d'activité) par les entreprises elles-mêmes. Dans le cas d'un produit automobile, le groupe PSA propose la grille suivante [PSA, 1999] :

Niveau	Critères de sélection
1	<ul style="list-style-type: none"> · Performances générales du système (ex. véhicule) conservées ; l'utilisateur peut continuer à utiliser son système ; il n'y a pas d'impératif à une intervention rapide. · Coût limité au dépannage ou remplacement de l'item défaillant ; l'événement redouté n'entraîne pas de dommages au système (ex. véhicule ou organe). · Pas de risque pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).
2	<ul style="list-style-type: none"> · Dégradation des performances, apparition de symptômes inquiétants, gêne importante ; l'utilisateur peut continuer à utiliser son système, mais une intervention s'impose rapidement. · L'événement redouté peut conduire à des dommages ou interventions supplémentaires sur le système (ex. imposer une contre visite au contrôle technique). · Pas de risque pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).
3	<ul style="list-style-type: none"> · L'événement redouté conduit à un arrêt total du système nécessitant une intervention pour le rendre à nouveau utilisable (notion de « panne »). · L'événement redouté peut conduire à des dommages importants au système (ex. véhicule ou organe) entraînant des coûts élevés de réparations (pièces et main-d'œuvre) , voire l'irréparabilité. · Risque négligeable pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).
4	<ul style="list-style-type: none"> · L'événement redouté est susceptible d'entraîner des risques de morts ou de dommages corporels pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).

Tableau : Grille de gravité proposé par PSA

De notre côté, nous avons établi une grille de cotation de la gravité issue d'une simplification de la grille proposée par PSA, permettant, à notre avis, une utilisation non cantonnée au secteur de l'automobile (tout en restant cependant liée à la conception de produits industriels grand public) :

Note	Importance
1	· Performances générales du système conservées ; l'utilisateur peut continuer à utiliser son système ; il n'y aura pas d'intervention si la défaillance intervient en dehors de la période de garantie.
2	· Dégradation des performances, apparition de symptômes inquiétants, gêne importante ; l'utilisateur peut continuer à utiliser son système, mais une intervention s'impose rapidement.
3	· L'événement redouté conduit à un arrêt total du système nécessitant une intervention pour le rendre à nouveau utilisable (notion de « panne »).
4	· L'événement redouté est susceptible d'entraîner des risques de morts ou de dommages corporels pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).

Tableau 1.6 : Proposition de grille de cotation de la gravité

Dans la colonne 7 notée F comme Fréquence, on évalue l'occurrence de l'apparition du mode de défaillance. Ici encore, les notes de Fréquences seront classiquement évaluées sur

une échelle de 1 à 4, cette évaluation se faisant en fonction du nombre et de la probabilité d'apparition des événements initiateurs.

Comme pour la gravité, il est conseillé d'objectiver ses grilles de cotation pour limiter la variabilité des notes proposées. Le groupe PSA propose des grilles construites en fonction des taux de défaillances pressentis par le groupe de travail :

Niveau	Critère de sélection
1	Il est pratiquement impossible que l'événement se produise au cours de la durée de vie de la population totale des systèmes.
2	L'événement est très rare mais possible au cours de la durée de vie de la population totale des systèmes.
3	L'événement se produira plusieurs fois sur la population totale des systèmes (au plus une fois sur la durée de vie d'un système).
4	L'événement se produira plusieurs fois sur chacun des exemplaires au cours de sa durée de vie.

Tableau 1.7 : Grille de fréquence proposé par PSA

Cependant, il nous semble que l'évaluation de la fréquence basée sur l'utilisation d'une grille articulée autour du taux de défaillance ressenti, est très délicate pour le groupe de travail. Aussi, plutôt que de baser ce critère sur la fréquence des défaillances potentielles, nos réflexions nous ont amené à une grille de cotation inédite que nous avons appelée grille de maîtrise. Cette grille est basée sur le niveau d'innovation du système et sur l'impact du nombre potentiel de défaillances sur la santé financière de l'entreprise. De plus, au niveau du degré d'innovation, nous dissociions la reprise d'éléments de la reprise de concepts. La reprise d'éléments éprouvés (reprise de plan) dans les mêmes conditions d'utilisations donne a priori une excellente garantie sur l'absence de défaillance de l'ensemble étudié. La reprise d'un concept (par exemple liaison par vis écrou) éprouvé mais avec modification de pièces élémentaires introduit nécessairement un risque plus grand sur la maîtrise.

Note	Niveau de maîtrise
1	Reprise d'éléments éprouvés en série : => Il est pratiquement impossible que l'événement se produise au cours de la durée de vie de l'ensemble de la population des systèmes
2	Reprise de concepts éprouvés dont les quelques défaillances <i>n'engendrent pas de pénalisation du marché</i> => Il est possible que quelques systèmes défailent au cours de leur durée de vie
3	Forte modifications de concepts connus => Il est possible qu'une part non négligeable de systèmes présentent une défaillance au cours de leur vie <i>impactant la rentabilité du produit</i> (retours garantie)
4	Conception innovante => Il est possible qu'une majorité de systèmes présentent des défaillances au cours de leur vie <i>engendrant un problème d'image de marque du produit voire de l'entreprise</i>

Tableau 1.8 : Proposition de grille de cotation de la fréquence

Le tableau ci-après présente les cotations évaluées par le groupe d'analyse de notre rasoir jetable :

Système : Rasoir Bic-Jet						Page : 1			
Situation de vie : Rasage				Pilote : Nicolas S.					
				Date : 15/08/08					
Fonction	Mode de défaillance de la fonction	Événement initiateur	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté	G	F	Actions de maîtrise des risques	G'	F'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FP1 : permet à la main de couper les poils	Ne rase plus (arrêt fonction)	Désolidarisation liaison manche / tête		Rasoir inutilisable	3	1			
	Rase mal (fonction dégradée)	Usure trop rapide des lames		Mauvais rasage	2	3			
	Coupe sans qu'on le demande (fonction intempestive)	Désolidarisation liaison corps / contre-lame	Désolidarisation des lames	Coupure de l'utilisateur	4	4			
	Ne rase pas (Absence de fonction à la sollicitation)	Sans objet							
	Rase de temps en temps (fonction intermittente)	Sans objet							
FP2 : Permet à la main d'hydrater la peau	N'hydrate pas (Absence de fonction à la sollicitation)	Mauvaise accroche de la plaquette lubrifiante sur la tête	Perte de la plaquette lubrifiante en phase rangement	Rasoir inutilisable	3	4			
	N'hydrate plus (arrêt fonction)	Défaillance de la plaquette lubrifiante par dépassement de la durée de vie de la tête		Sensation de brûlure à l'utilisation	2	3			
	Hydrate mal (fonction dégradée)	Evaporation d'un composant de la plaquette lubrifiante	Perte du caractère glissant du rasoir	Sensation d'accroche à l'utilisation	1	3			
	Hydrate sans qu'on le demande (fonction intempestive)	Sans objet							
	Hydrate de temps en temps (fonction intermittente)	Sans objet							
FC1 : Doit être préhensible par la main	N'est plus préhensible par la main (arrêt de fonction)	Désolidarisation liaison manche / tête		Rasoir inutilisable	3	1			
	Est mal préhensible par la main (fonction dégradée)	Forme non adaptée du manche		Fatigue à l'utilisation	1	1			
	N'est pas préhensible par la main (absence de fonction)	Sans objet							
	Est préhensible par la main sans qu'on lui demande (fonction intempestive)	Sans objet							
	Est préhensible de temps en temps (fonction intermittente)	Sans objet							

Tableau 1.9 : Analyse préliminaire de risque partie analyse quantitative

Selon la norme NFX 60-500 [AFNOR, 1988], la fiabilité d'un système est définie comme étant l'« aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné ». Aussi, la note de gravité représentant la puissance de l'impact du mode de défaillance sur le client utilisateur final, il est classique que les objectifs de fiabilité du système soient alloués en fonction de cette note. Ainsi, le groupe Renault propose de façon générique les objectifs de fiabilité suivant (les niveaux d'impacts proposés par Renault ne sont pas notés de 1 à 4 mais de A à D) :

Grade	Défaillance	Durée objectif	Proportion maxi de défaillants
A	Défaut de sécurité	400 000 km 20 ans	0,03%
B1	Panne immobilisante	300 000 km 20 ans	
B2	Perte de confiance dans le véhicule faisant s'arrêter le conducteur	220 000 km 15 ans	
C	Défaillance majeure : Nécessité de réparer rapidement	100 000 km 10 ans	
C1	Non respect des normes d'émission	En fonction des normes en vigueur en Europe	
D	Défaillance mineure : Gênant mais n'empêchant pas de rouler	60 000 km 5 ans	

Tableau 1.10 : Objectifs de fiabilité classiquement alloués par Renault

Cependant, qui dit objectifs dit obligation pour le fournisseur d'apporter la preuve que sont système y répond ! Cette preuve pourra être amenée soit de façon qualitative par un arbre de défaillance, soit de façon quantitative par des essais physiques (l'arbre de défaillance fera l'objet du paragraphe 5 du présent chapitre, mais les essais physiques, pouvant être considérés comme une démarche à part entière, ne seront pas abordés). Ainsi, il n'est pas rare que les constructeurs de systèmes demandent à leurs fournisseurs équipementiers de présenter des arbres de défaillances relatifs à chaque mode de défaillance dont la note de gravité serait égale à 3 (panne du système) ou 4 (problème de sécurité).

La colonne 8 de notre tableau d'analyse préliminaire de risque décrit les actions de maîtrise de risque mise en œuvre par le concepteur du système. Ces actions peuvent être d'ordre technique (création d'une redondance, mise en place d'un protecteur, ...) ou organisationnelle (analyse des défaillances intrinsèques à chaque composants par une AMDEC, ...), et doivent aboutir à une diminution de la Fréquence F et / ou de la Gravité G. Le seuil de déclenchement d'une action spécifique doit être menée en fonction du couple Fréquence / Gravité. Le groupe PSA a ainsi défini son seuil de déclenchement par la matrice suivante :

F \ G	1	2	3	4	
1					 Risque jugé acceptable pour lequel aucune action n'est à entreprendre
2					
3					 Risque jugé acceptable uniquement si toutes les actions de conception pouvant réduire la gravité ont été explorées et ont fait l'objet d'une évaluation probabiliste chiffrée
4					

Tableau 1.11 : Matrice de déclenchement d'actions de maîtrise de PSA

Pour juger de la pertinence de l'action envisagée, il est nécessaire de réévaluer le niveau du risque que le mode de défaillance pourrait présenter une fois l'action mise en œuvre. Ces nouvelles cotations F' et G' seront renseignées dans les colonnes 9 et 10.

Le tableau ci-après présente les actions correctives proposées par le groupe d'analyse afin de réduire le niveau de risques relatif à notre rasoir jetable :

Système : Rasoir Bic-Jet							Page : 1		
Situation de vie : Rasage				Pilote : Nicolas S.					
				Date : 15/08/08					
Fonction	Mode de défaillance de la fonction	Événement initiateur	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté	G	F	Actions de maîtrise des risques	G'	F'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FP1 : permet à la main de couper les poils	Ne rase plus (arrêt fonction)	Désolidarisation liaison manche / tête		Rasoir inutilisable	3	1			
	Rase mal (fonction dégradée)	Usure trop rapide des lames		Mauvais rasage	2	3	Utilisation de lames en carbures	2	2
	Coupe sans qu'on le demande (fonction intempestive)	Désolidarisation liaison corps / contre-lame	Désolidarisation des lames	Coupure de l'utilisateur	4	4	Conception sans défaillances élémentaire de niveau 1 (validation par arbre)	4	1
	Ne rase pas (Absence de fonction à la sollicitation)			Sans objet					
	Rase de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet					
FP2 : Permet à la main d'hydrater la peau	N'hydrate pas (Absence de fonction à la sollicitation)	Mauvaise accroche de la plaquette lubrifiante sur la tête	Perte de la plaquette lubrifiante en phase rangement	Rasoir inutilisable	3	4	Reprise plaquette éprouvée sur rasoir classique	3	1
	N'hydrate plus (arrêt fonction)	Défaillance de la plaquette lubrifiante par dépassement de la durée de vie de la tête		Sensation de brûlure à l'utilisation	2	3	Reprise plaquette éprouvée sur rasoir classique	2	1
	Hydrate mal (fonction dégradée)	Evaporation d'un composant de la plaquette lubrifiante	Perte du caractère glissant du rasoir	Sensation d'accroche à l'utilisation	1	3			
	Hydrate sans qu'on le demande (fonction intempestive)			Sans objet					
	Hydrate de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet					
FC1 : Doit être préhensible par la main	N'est plus préhensible par la main (arrêt de fonction)	Désolidarisation liaison manche / tête		Rasoir inutilisable	3	1			
	Est mal préhensible par la main (fonction dégradée)	Forme non adaptée du manche		Fatigue à l'utilisation	1	1			
	N'est pas préhensible par la main (absence de fonction)			Sans objet					
	Est préhensible par la main sans qu'on lui demande (fonction intempestive)			Sans objet					
	Est préhensible de temps en temps (fonction intermittente)			Sans objet					

Tableau 1.12 : Approche fonctionnelle de l'APR du rasoir

Malgré l'apparence chronologique de la numérotation des colonnes, nous conseillons de ne pas remplir les colonnes dans l'ordre. En effet, les colonnes 1 ; 2 ; 5 ; 6 sont inhérentes au besoin du client. Ces colonnes devraient donc être réalisées par celui-ci à la suite directe de l'analyse fonctionnelle externe et transmises au concepteur en même temps que le cahier des charges fonctionnel.

Les colonnes 3 ; 4 et 7 sont quant à elles dépendantes des concepts techniques mis en œuvre dans le produit, elles ne pourront donc être renseignées que par le concepteur après un premier jet de conception représenté par l'analyse fonctionnelle interne.

3.2. L'APR approche agressions

Comme précisé en introduction à l'APR, il existe deux approches agressions complémentaires à l'approche fonctionnelle décrite ci-dessus :

- * Une approche agression du système vers l'extérieur, appelée également agressions externe qui étudie l'impact sur l'environnement d'une défaillance d'un élément potentiellement dangereux.
- * Une approche agressions du milieu extérieur vers le système, appelée également agressions interne qui étudie les conséquences des agressions potentielles que le milieu extérieur peut induire sur les éléments sensibles du système.

3.2.1. Agression du système vers l'extérieur

Comme pour l'approche fonctionnelle, nous préférons le formalisme proposé par PSA pour réaliser cette analyse :

Système :				Page :					
Situation de vie :			Pilote :		Date :				
Élément potentiellement dangereux	Événement initiateur agression système	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté (au niveau du client)	G	F	Actions de maîtrise des risques		G'	F'
1	2	3	4	5	6	7		8	9

Tableau 1.13 : Formalisme APR agressions externes proposé par PSA

Dans la colonne 1, le groupe de travail recherchera l'ensemble des éléments présentant une forme, ou contenant suffisamment d'énergie latente, pour présenter un danger potentiel. Par énergie latente, on entend une énergie capable d'être libérée de façon incontrôlée (résistance chauffante, ressort tendu, élément sous pression, etc...)

Dans la colonne 2, on recherchera le ou les événements initiateurs (défaillance interne au système, mauvaise manipulation de l'utilisateur, modification du milieu environnant, ...) qui pourraient libérer cette énergie latente, pouvant ainsi provoquer l'événement redouté au niveau du client utilisateur.

A partir de la colonne 3 incluse, on retrouve les mêmes items que dans l'approche fonctionnelle. Ainsi, le scénario de la colonne 3 décrit la succession d'événements depuis la transformation de l'événement initiateur jusqu'à l'événement redouté final pour le client, en passant par les impacts au niveau des systèmes de niveau N, N+1, N+2, ..., N+k (niveau correspondant au système détenu par le client utilisateur dans la situation de vie étudiée). Comme pour l'approche fonctionnelle, il n'est pas nécessaire de faire des excès de zèle pour remplir cette colonne (l'APR se devant d'être réalisée rapidement), celle-ci servant essentiellement au groupe de travail à mieux appréhender la probabilité d'apparition de l'événement (cotation F).

Dans la colonne 4, on retrouve la description de l'événement redouté au niveau du client en termes de gêne dans l'utilisation de son système (dégradation ou échec de la mission), de risque corporel, de pertes financières, etc...

Les éléments entrant dans la partie cotation comme la partie action corrective (colonnes 5 à 9) restent identiques à ceux présentés dans les colonnes correspondantes de l'approche fonctionnelle.

Le tableau ci-après présente un exemple de l’approche agression externe qui aurait pu être réalisée lors de l’analyse préliminaire de notre rasoir jetable :

Système : Rasoir Bic-jet						Page :		
Situation de vie : Rasage			Pilote : Nicolas S.			Date : 15/08/08		
Elément potentiellement dangereux	Événement initiateur agression système	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté (au niveau du client)	G	F	Actions de maîtrise des risques	G'	F'
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lames	Lames trop aiguisée		Coupure de l'utilisateur	4	1			
	Montage lames non parallèle	Coincement de la peau entre les lames	Coupure de l'utilisateur	4	3	Mise en place protecteur de lames	2	1
Plaquette lubrifiante	Plaquette allergène	Plaquette contenant un composant chimique provoquant certaines allergies	Inflammation de la peau	4	3	Reprise plaquette éprouvée sur rasoir classique	4	1

Tableau 1.14 : Approche agression externe de l’APR du rasoir

Au niveau phasage de cette approche dans le projet de développement, on remarquera que contrairement à l’approche fonctionnelle qui se positionne dès la phase spécification, l’approche agression externe ne peut être réalisée qu’après une première base de conception car son point d’entrée est la liste des éléments constitutifs du système (synthétisée par l’analyse fonctionnelle interne).

Comme le montrera le paragraphe suivant qui y est consacré, l’approche agression externe se positionne au même moment que l’AMDEC Produit pour un objectif et une approche somme toute assez semblables. Aussi, au regard du temps passé et de la plus value par rapport à l’AMDEC, nous considérons que cette approche peut aisément être shuntée par l’équipe projet sans impact conséquent sur le niveau de risque final du système étudié.

3.2.2. Aggression du milieu extérieur sur le système

Comme pour l’approche précédente, le point de départ est la liste des éléments constitutifs du système, cependant, le groupe recherchera ici l’ensemble des composants (système de niveau N-1) qui pourraient être sensibles à une agression extérieure :

Système :						Page :		
Situation de vie :			Pilote :			Date :		
Elément fragile	Événement initiateur agression environnement / interface	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté (au niveau du client)	G	F	Actions de maîtrise des risques	G'	F'
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tableau 1.15 : Formalisme APR agressions externes proposé par PSA

Dans la colonne 1, le groupe de travail recherchera les éléments (composants de niveau N-1 dans le découpage PBS) sensibles à une agression extérieure pouvant provenir de l’environnement (ou des autres systèmes interfacés avec le système étudié).

Dans la colonne 2, on recherchera le ou les événements initiateurs extérieurs au système qui pourraient dégrader l’élément fragile. Par événement extérieur, on entend aussi bien les éléments du milieu ambiant (champs électromagnétiques, température, agressions mécaniques ou chimique), que les défaillances des autres systèmes avec lequel le système étudié est en interaction (surtensions, vibrations, etc...).

Le traitement des colonnes suivantes est identique à celui décrit pour l'approche agression externe.

Encore une fois et pour les mêmes raisons, l'approche agression interne peut être shuntée au profit d'une analyse AMDEC seule dont le phasage, l'objectif et la méthodologie mise en œuvre peuvent être considérés comme semblables.

Le tableau ci-après présente un exemple de l'approche agression interne qui aurait pu être réalisée lors de l'analyse préliminaire de notre rasoir jetable :

Système : Rasoir Bic-jet						Page :			
Situation de vie : Rasage			Pilote : Nicolas S.			Date : 15/08/08			
Élément potentiellement dangereux	Événement initiateur agression système	Conséquence système et description du scénario	Événement Redouté (au niveau du client)	G	F	Actions de maîtrise des risques		G'	F'
1	2	3	4	5	6	7		8	9
Lames	Lames trop aiguisées		Coupure de l'utilisateur	4	1				
	Montage lames non parallèle	Coincement de la peau entre les lames	Coupure de l'utilisateur	4	3	Mise en place protecteur de lames		2	1
Plaquette lubrifiante	Plaquette allergène	Plaquette contenant un composant chimique provoquant certaines allergies	Inflammation de la peau	4	3	Reprise plaquette éprouvée sur rasoir classique		4	1

Tableau 1.16 : Approche agression externe de l'APR du rasoir

En complément à l'exemple très succinct ci-dessus, le lecteur pourra se référer à la présentation de la méthodologie APR réalisée par Thierry BOUCON de la société BERTIN et Richard CHASE de l'Agence Spatiale Européenne [Boucon, x] prenant appui sur l'analyse du scaphandre spatial EVA.

4. L'AMDEC Produit

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités), définie comme étant une « méthode rigoureuse et préventive visant à recenser, puis à évaluer les défaillances d'un système » [Renault, 2000], est considérée dans la plupart des organisations comme l'outil d'analyse de risque le plus pertinent. A ce titre, bon nombre d'industries (automobile, aéronautique, ...) ont rendu ce type d'analyse obligatoire dans leur processus de développement.

L'AMDEC consiste à analyser l'ensemble des défaillances qui pourraient survenir sur un système. Cependant, comme énoncé dans le chapitre introduction de ce recueil, les défaillances peuvent être classées en 2 catégories : les défaillances dues à des problèmes de conception et les défaillances dues à des erreurs de fabrication. Aussi, il existe un type d'AMDEC pour chacun de ces types de défaillances :

- L'AMDEC Processus pour analyser les défaillances générées par le processus de fabrication. Ce type d'AMDEC sera idéalement mise en œuvre en phase industrialisation (le mode de réalisation des AMDEC processus sera décrit et analysé dans la partie « maîtrise des risques en fabrication »).
- L'AMDEC Produit utilisée pour fiabiliser les systèmes par l'analyse des défaillances dues aux erreurs de conception. Ce type d'AMDEC sera donc mis en œuvre en phase développement produit.

mises en œuvre pour réduire les niveaux de risque les plus élevés), contrairement aux grilles proposées par Renault SA [Renault, 2000], par le recueil FMEA du QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] ou par le VDA [VDA, 1996] qui mixent l'analyse qualitative et l'analyse quantitative (la note d'occurrence O est alors positionnée juste après la cause, la note de gravité G juste après l'effet et la note de validation V juste après la colonne plan de validation).

Même si mixer analyse qualitative et analyse quantitative permet de mieux montrer le lien entre ces 2 analyses, il nous semble préférable, lors de l'animation d'une AMDEC, de bien scinder la partie qualitative de la partie quantitative, afin notamment de pouvoir effectuer l'ensemble des cotations lors la même séance de travail ; ceci ayant pour effet d'améliorer la cohérence de cotation inter-lignes.

4.1.1. Analyse qualitative de l'AMDEC Produit approche fonctionnelle

L'approche fonctionnelle de l'AMDEC Produit ayant pour objet de s'assurer que le design répond à l'ensemble des critères du cahier des charges, les modes de défaillances seront considérés comme étant la non réalisation (ou la mal réalisation) des critères de performance associé aux fonctions. Comme précisé dans la procédure AMDEC de Renault SA, « la démarche AMDEC va s'appuyer sur notre esprit critique dans ce qu'il a de plus négatif », l'approche consistant à rechercher « ce qu'il pourrait arriver pour que ce service ne soit plus rendu, et dans quelle mesure le client s'en trouve-t-il affecté ? » [Renault, 2000].

Afin de tendre vers l'exhaustivité de l'analyse, l'animateur s'efforcera de mener le groupe à se poser la question de la possibilité d'existence de chacun des 5 modes de défaillance potentiels relatifs à chaque critère de performance du cahier des charges :

- Absence du critère (le temps de coupe n'a jamais été de 5min)
- Arrêt du critère (le temps de coupe n'est plus de 5 min)
- Dégradation du niveau relatif au critère (le temps de coupe s'allonge régulièrement)
- Arrivée intempestive du critère (le rasoir se met à raser tout seul et ce en 5 minutes !!!)
- Obtention intermittente du niveau de performance (le temps de coupe est de temps en temps en dehors des tolérances).

On voit évidemment que pour certains critères de performance du cahier des charges, certains modes de défaillance ne veulent rien dire (« le rasoir se met à raser tout seul et ce en 5 minutes ») ou sont redondant avec d'autres (« le temps de coupe est de temps en temps en dehors des tolérances » et « le temps de coupe n'est plus de 5 min ») mais il est important que l'animateur garde ces 5 possibilités de modes de défaillances à l'esprit lors de son animation pour une analyse la plus exhaustive possible.

La fiabilité d'un système est définie comme étant l'« aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné » [AFNOR, 1988], on considèrera donc le système en défaillance lorsque le critère du cahier des charges n'est pas obtenu, dans les conditions normales d'utilisation.

La première colonne de l'AMDEC sera donc remplie telle que présenté dans la figure ci-après :

SV	Fonction	Groupe de mots	Critères	Niveaux	Flexibilité	Exigence
Utilisation	Fp1	Couper	Temps de coupe	5 min ± 2 min	F1	1
					
		Main	% gaucher	20% ± 3%		
		Poil	Longueur	3mm maxi		

FONCTION				CLIENT		CONCEPTION		
N°	Situation de vie	Fonction	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation
1	Utilisation	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gaucher ayant longueur de poils < 3 mm					

Figure 1.11 : Lien Cahier des charges / AMDEC fonctionnelle

Même si les conditions normales ne sont pas forcément reprises dans le libellé du mode de défaillance, il faut que le groupe de travail conserve à l'esprit que la défaillance a lieu dans ces conditions, notamment lors de la cotation. En effet, si Robinson Crusoe met plus de 5 minutes à se raser à son retour de l'île déserte, cela ne doit aucunement être considéré comme une défaillance du rasoir car Robinson aurait certainement eu une longueur de barbe supérieure à 3mm à ce moment là !

L'effet de chaque mode de défaillance sera analysé et renseigné dans la 5^{ème} colonne de notre formalisme. L'effet correspond à l'impact du mode de défaillance sur le client, il sera donc fonction de l'importance de la fonctionnalité rendue par le système, vu par le client. Selon la situation de vie étudiée, le client pourra être le fabricant interne, le client aval, le client utilisateur voire le recycleur. Chacun de ces clients pouvant successivement être impacté par le mode de défaillance, ne sera classiquement noté dans cette colonne que l'effet sur le client le plus impacté. Si le groupe de travail ne sait pas bien déterminer lequel de deux clients est le plus impacté par le mode de défaillance, les deux effets correspondants seront notés dans l'AMDEC et feront chacun l'objet d'une ligne distincte.

Par client, on peut aussi entendre systèmes d'ordres supérieurs dans le découpage hiérarchique du produit PBS. Ainsi les effets des modes de défaillance du rasoir pourront s'envisager au niveau du kit de rasage (exemple : mode de défaillance : le temps de coupe est supérieur à 5 min, effet : le kit de rasage ne se vend pas).

Attention à ne pas tomber dans le syndrome « théorie du chaos » lors de la recherche des effets en imaginant des cascades d'effets avec des si ; l'objet de l'AMDEC n'étant pas d'analyser les combinatoires de causes ou d'effets (ces combinatoires seront analysées par les arbres de défaillances). En effet, dans ce cas et tel l'effet papillon (battement d'ailes de papillon à Tokyo générant un raz de marée à San Francisco), chaque mode de défaillance pourrait générer des impacts potentiellement sécuritaires (si on met plus de 5 minutes à se

raser, ce retard pourrait faire rater le bus au client, qui se fera licencier de son travail pour retard, le plongeant dans une profonde dépression, se terminant par un suicide). Dans la colonne effet ne sera donc noté que l'effet que l'on pourrait qualifier de niveau 1, le groupe pouvant aller jusqu'à envisager l'effet de niveau 2 si la liaison effet de niveau 1 / effet de niveau 2 est sûre (ou quasi sûre).

Dans l'industrie automobile, la norme ISO TS 16949 [ISO, 2002] précise que « L'organisme doit identifier les caractéristiques spéciales ». Cette norme définit les caractéristiques spéciales comme étant une « caractéristique d'un produit ou paramètre d'un processus de fabrication qui peuvent affecter la sécurité, la conformité aux réglementations, l'aptitude à l'emploi, la fonction, les performances du produit ou les opérations de finition ultérieures sur ce produit ». En clair, l'ISO TS 16949 demande de mettre en lumière les caractéristiques du produit qui ont un fort impact sur le client.

Ainsi, si l'impact du mode de défaillance est considéré comme très important pour le client, ce mode de défaillance sera mis en lumière par la mention « Caractéristique Spéciale » (CS) dans la colonne N°6 de notre formalisme ; en cas de problème lié à la sécurité, on pourra le signaler par la mention « Caractéristique Critique » (CC).

Le seuil de déclenchement de cette mise en lumière dépend du niveau d'impact que chacun considère comme fort. Ce point sera donc précisé dans notre recueil dans le passage décrivant la cotation de la note de gravité.

L'étape suivante consiste à rechercher les causes des modes de défaillances et de les renseigner dans la 7^{ème} colonne de notre formalisme. Les causes se situent au niveau de la définition des composants ou des liaisons entre les composants constitutifs du système (niveau N-1 dans le découpage PBS). Aussi, la recherche des causes part du bloc diagramme fonctionnel comme le montre le schéma suivant :

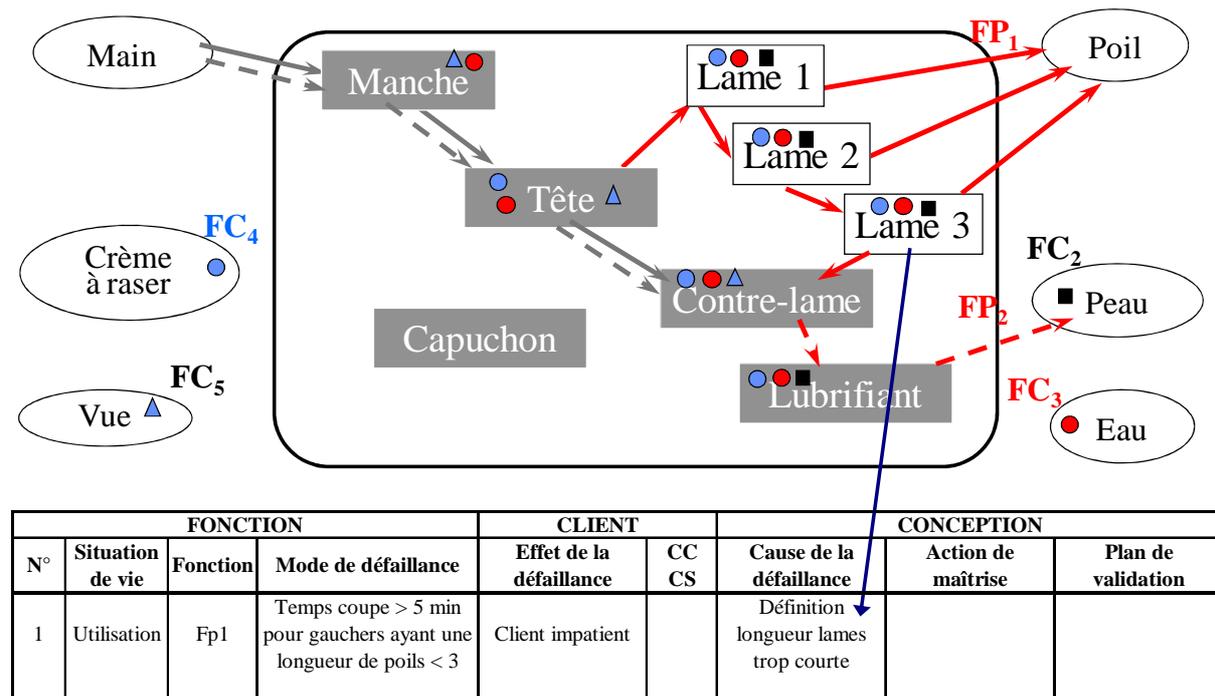


Figure 1.12 : Recherche des causes au niveau du bloc diagramme fonctionnel

Nous conseillons de ne pas chercher à être exhaustif dans la recherche des causes, l'arbre de défaillance décrit au paragraphe suivant étant plus performant que l'AMDEC pour cet exercice. En effet, l'AMDEC a pour objet de classer les modes de défaillances en termes de risque afin de déterminer les modes qui nécessiterait une action corrective. La recherche des causes à ce niveau n'étant qu'un élément permettant de mieux caractériser les modes de défaillance pour en déterminer la probabilité d'apparition.

Il se peut cependant que plusieurs causes potentiellement génératrices du mode de défaillance viennent spontanément à l'esprit du groupe. Dans ce cas, et pour ne pas surcharger l'analyse, le groupe ne mentionnera que la ou les causes les plus probables.

La 8^{ème} colonne de notre formalisme sert à mentionner les actions de maîtrise volontairement mises en œuvre de façon préalable par le concepteur pour éviter (ou réduire) la probabilité d'apparition du mode de défaillance. Ainsi, le concepteur pourra par exemple noter dans cette colonne :

- les coefficients de sécurité qu'il a pris pour calculer le dimensionnement de la pièce.
- Le fait d'avoir prévu une redondance.
- Le fait d'avoir reconduit un élément ou un concept issu d'un système de génération précédente n'ayant pas eu de problème jusqu'à présent.
- Le fait de s'être basé sur les règles de l'art, ou sur un retour d'expérience formalisé dans l'entreprise.
- ...

Cette colonne n'est pas classique dans les formalismes d'analyse AMDEC. Elle n'est par exemple apparue qu'en 2001 dans la 3^{ème} édition du recueil FMEA associé au QS 9000. Mais cette colonne est très intéressante en termes de capitalisation car c'est dans celle-ci qu'est consigné le savoir faire du concepteur pouvant servir de base de données pour la conception des systèmes de génération future.

La dernière étape de l'analyse qualitative consiste à lister les démarches de vérifications ou validations (revues, calculs, tests, essais, ...) qui permettront de s'assurer que la défaillance n'aura pas lieu.

Attention à ne noter dans cette colonne que les validations prévues (ou déjà effectuées en fonction du positionnement de l'AMDEC dans le processus de développement). Par validations prévues, on entend validations budgétées et planifiées dans le plan de validation ; les validations possibles seront notées dans la colonne actions correctives si nécessaire.

Un biais classique consiste à ne noter dans cette colonne que les validations effectuées au moment où est écrite l'AMDEC. Ainsi, au fil des versions de l'analyse effectuées lors des différentes phases d'avancement du projet de conception, la colonne validation s'enrichit faisant ainsi baisser la note de validation (détection) correspondante et donc le niveau de criticité du mode de défaillance associé. Cette idée, a priori séduisante, conduit cependant à ne considérer la criticité que comme un indicateur d'avancement de projet, ce qui n'est pas son objet. L'indicateur criticité doit rester un indicateur de niveau de risque pour le client ; aussi, le groupe devra se positionner comme s'il était en fin de développement et notera dans la colonne 9 toutes les validations prévues comme si elles avaient déjà été réalisées.

Dans certaines littératures, cette colonne est appelée détection. A ce terme, nous préférons réellement le terme de validation utilisé ci-dessus. En effet, le terme de détection à une certaine consonance process aussi, certains groupes pourraient être tentés de noter dans cette colonne des détections mises en œuvre sur les lignes de fabrication. Ceci serait correct en AMDEC processus mais ne fait absolument pas l'objet de l'AMDEC produit.

De plus, avec le terme de détection, certains groupes de travail sont tentés de noter ici les systèmes d'autodiagnostic du produit, ce qui, encore une fois, n'est pas l'objet de cette colonne.

Le tableau ci-après présente un exemple de la partie qualitative qui aurait pu être réalisé lors de l'AMDEC Produit (en approche fonctionnelle) de notre rasoir jetable :

AMDEC Produit : GRILLE D'ANALYSE																			
Produit : Rasoir		Analyse fonctionnelle				Pilote : Nicolas S.				Animateur : François F.									
Référence : BIC-JET		Date : 14/07/08				Indice : A				Date : 25/12/08				Indice : Page :					
N°	Situation de vie	FONCTION		CLIENT		CONCEPTION			NOTES				ACTIONS			RESULTATS			
		Fonction	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés			
									O	G	V	C	Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'
1	Utilisation	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Client impatient		Définition longueur lame trop courte	Rien	Test sur panel client											
2			Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Désagrément du client		Choix matériau tête à coefficient de frottement trop fort	Rien	Test protos sur faux visage											
3			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client		Choix matériaux lames qui s'use trop vite	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	Revue matériaux											
4			Durabilité inférieure à 1 an	Client mécontent => risque perte client		Mauvaise définition du mode de soudage manche / tête qui se désolidarise	Soudage US avec 3 points de fusion	Rien											
5		Fp2	Taux d'hommes satisfait du confort de rasage < 90%	Désagrément du client		Plaquette trop peu soluble dans l'eau	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Test sur panel client											
6			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client		Plaquette trop soluble dans l'eau	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux											
7			Taux d'hygrométrie surfacique de la peau < 85%	Désagrément du client		Mauvais choix de plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux											
8		Fc1	....	....		...		....					

Tableau 1.18 : Partie qualitative de l'approche fonctionnelle de l'AMDEC Produit du rasoir

4.1.2. Analyse quantitative de l'AMDEC Produit approche fonctionnelle

L'analyse qualitative terminée, chaque mode de défaillance sera évalué en terme de criticité (niveau de risques) afin de déterminer quel sont les modes de défaillances qui nécessiteront une action corrective pour rendre leur niveau de risque acceptable.

Les risques seront cotés en termes d'occurrence (probabilité d'apparition), de gravité (puissance de l'impact de la défaillance sur le client) et validation (pertinence des démarches de validations prévues), l'indice de criticité, aussi appelé IPR comme Indice de Priorité de Risque, étant le produit de ces 3 critères.

L'objet de l'AMDEC étant de prioriser les modes de défaillances par une cotation multicritère, il est capital que chacun des critères soient indépendants les uns des autres. Cette indépendance doit se retrouver dans le libellé des grilles de cotation mais également dans les faits. Attention donc à ne pas tomber dans l'erreur qui consiste à dire « ce mode de défaillance n'est pas grave, car il n'arrive pas souvent ». Le fait que le problème n'arrive pas souvent veut dire que la note d'occurrence sera basse ; mais ne donne aucune information sur l'impact du mode de défaillance et donc la note de gravité.

Classiquement, les critères d'occurrence, gravité et validation sont cotés sur une échelle allant de 1 à 10 (1 étant le niveau le moins gênant pour le client et 10 le plus) mais certaines littératures proposent des grilles allant de 1 à 4. Ces dernières, mêmes si elles présentent l'avantage de limiter les discussions autour de la cotation par un choix moindre de valeurs possibles, ont l'inconvénient de créer des Pareto de criticité beaucoup moins discriminants. A l'inverse, utiliser des grilles allant de 1 à 4 permet de garder une cohérence avec les grilles d'Analyse Préliminaires de Risques. Aussi, pour cumuler les 2 avantages, nombre de littératures proposent des correspondances entre les grilles d'APR et les grilles d'AMDEC, les grilles AMDEC présentant seulement un plus vaste choix autour du libellé de chacune des valeurs des grilles d'APR.

Alors que de nombreux logiciels proposent de relier les cotations à un retour d'expérience formalisé, il nous semble que la meilleure façon de coter les AMDEC est une cotation au nez, c'est-à-dire en fonction du ressenti de chacun des membres du groupe, l'effet groupe permettant de lisser les différences de ressenti.

Cependant, les différents membres du groupe de travail peuvent présenter des désaccords sur la note à attribuer à telle ou telle défaillance. Kwai-Sang CHIN et al [Chin, 2009] [Chin, 2009] proposent une méthode de calcul des critères d'occurrence, de gravité basée sur la logique floue pour prendre en compte la variabilité d'appréciation de chacun des participants. A cette approche trop compliquée à notre avis pour avoir une réelle chance d'être appliquée dans l'industrie, nous préférons la recherche du consensus, chacun des participants expliquant pourquoi il veut mettre telle ou telle note. En l'absence de consensus et en dernier ressort, nous proposons à l'animateur de faire la moyenne des notes proposées par chacun des membres du groupe.

4.1.2.1. *Cotation de l'occurrence*

La cotation de l'occurrence consiste à évaluer la confiance que l'on peut avoir envers le système en son aptitude à ne pas défaillir selon le mode de défaillance envisagé. Attention, cette confiance sera relative à la probabilité d'apparition de la défaillance dans les conditions normales d'utilisation et non pas relative à la probabilité que le système soit utilisé en dehors de ses conditions normales. Il s'agit là d'une erreur classique dans lequel bon nombre de groupes de travail peuvent tomber s'ils n'y prêtent pas une attention réelle.

4.1.2.2. *Cotation de la sévérité*

Coter la sévérité, aussi appelée gravité, consiste à caractériser la puissance de l'impact de la défaillance sur le client (dans la situation de vie correspondante). La sévérité est ainsi directement liée à l'effet. A l'animateur donc de s'assurer que pour un même effet, on trouve la même note de sévérité.

Ainsi, à partir du moment où l'effet de la défaillance est bien caractérisé, la cotation de la sévérité est relativement aisée. C'est pourquoi on ne trouve pas de grands écarts méthodologiques entre les différentes grilles de cotation de la sévérité proposée par la littérature.

Classiquement, les grilles de sévérité partent d'un impact non repérable par le client (gravité = 1) puis progressent en fonction du niveau de gêne occasionnée pour aller jusque la panne du système (gravité autour de 8). Le niveau supérieur (gravité = 10) étant alloué aux défaillances engendrant un possible problème de sécurité.

Le référentiel automobile ISO TS 16949 demandant de mettre en lumière les caractéristiques qui, si elles défont, impactent fortement le client (caractéristiques spéciales), la plupart des constructeurs automobiles définissent le seuil de déclenchement du caractère spécial de la caractéristique sur la note de gravité. Selon les constructeurs, ce seuil de déclenchement peut être défini au niveau correspondant à la panne immobilisante (seuil voisin de 8), ou baissé à la note correspondant à une fonction primaire altérée (seuil proche de 6).

4.1.2.3. *Cotation de la détection*

Coter la détection correspond à coter la possibilité de détecter les problèmes de conception lors des démarches de validation. La note de détection sera donc une fonction de la pertinence des démarches de validations mises en œuvre lors de la conception (revues, calculs, essais, etc...).

Attention donc à ne pas coter la capacité d'autodiagnostic du produit (qui impacte la note sévérité et non la note de détection). C'est pour éviter cet écueil que nous préférons appeler ce critère « validation ».

4.1.3. Etude comparative des grilles de cotation proposées par les constructeurs automobile

Afin d'objectiver sa notation, le groupe se basera sur des grilles de cotation. Ces grilles ne peuvent pas être universelles (et donc normalisables) car elles doivent prendre en compte les volumes produits, la complexité, le mode d'utilisation des systèmes, etc. Aussi, chaque entreprise devra se créer ses propres grilles de cotation en adéquation avec son métier.

Bien que de nombreux articles aient été écrits sur le mode de cotation présentant diverses grilles de cotation répondant notamment à telle ou telle spécificité sectorielle (voir l'état des lieux réalisé par Sellappan NARAYANAGOUNDER et Karuppusami GURUSAMI [Narayanagounder, 2009] en introduction à leur article proposant un mode de calcul de la criticité basé sur l'analyse de la variance), nous nous limiterons dans cet ouvrage à présenter les grilles proposées par les constructeurs automobile (ces dernières étant à la base de la plupart des grilles utilisées dans le monde industriel).

Une cotation par les coûts, directement intégrée dans les grilles de cotation telle que proposée par Seung J. RHEE & Kosuke ISHII [Rhee, 2003] ou par l'addition d'un critère « coût » supplémentaire dans l'indice de criticité [Breiing, 2002], même si elle est intéressante d'un point de vue conceptuel, ne sera pas reprise ici car quasiment jamais employée dans l'industrie.

4.1.3.1. Cotation de l'occurrence

4.1.3.1.1 Grille proposée par PSA

Dans sa procédure interne [PSA, 2003], le groupe PSA propose la grille de cotation de l'occurrence suivante :

Niveau	Définition (probabilité que la cause se produise et entraîne le mode de défaillance en clientèle)	
1	Défaillance très peu probable	0 à 1 ppm (compris)
2	Faible probabilité de défaillance	1 à 10 ppm
3		10 à 100 ppm
4	Défaillances occasionnelles	100 à 500 ppm
5		500 à 1000 ppm
6		1000 à 5000 ppm
7	Défaillances répétées	5000 à 10000 ppm
8		10000 à 20000 ppm
9	Très probable, défaillance quasi-systématique	20000 à 100000 ppm
10		> 100000 ppm
		ppm sur la durée de vie du véhicule

Tableau 1.19 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par PSA

Comme la majorité des littératures, PSA propose une grille à double lecture : Une lecture subjective (partie gauche de la grille) et une lecture objective sur la partie droite.

La grille subjective sera utilisée si le groupe de travail ne dispose pas d'un retour d'expérience formalisé sur la défaillance considérée. Dans ce cas, la cotation se fera en fonction du ressenti des membres du groupe de travail, l'animateur s'efforçant de trouver un consensus entre chacun des participants.

La partie droite de la grille cote l'occurrence en fonction du nombre de défaillances qui pourraient survenir dans la durée de vie du véhicule en ppm (partie par million ou nombre de défaillance par millions de systèmes). Cette évaluation se fera sur la base du retour d'expériences issu des systèmes similaires de génération précédente ou sur la base d'essais ou de calculs de fiabilité effectués sur le système étudié.

Cependant, en automobile, le retour d'expériences issu des systèmes de génération similaire se borne dans la majorité des cas à la période de garantie, on ne dispose donc pas d'informations quant au nombre de systèmes défaillants sur la durée de vie du véhicule. De plus, il est complètement utopique d'envisager de mener des essais de fiabilité sur l'ensemble des défaillances potentielles imaginé lors de l'analyse qualitative. Aussi, la cotation de l'occurrence en ppm comme proposé dans la partie droite de la grille n'étant généralement pas faisable, le groupe se reportera sur la partie gauche de la grille et sera obligé de coter l'occurrence de manière subjective.

4.1.3.1.2 Grille proposée par Renault

Pour coter l'occurrence, Renault [Renault, 2000] propose une grille significativement différente des grilles présentées par les autres constructeurs car celle-ci ne cote pas les occurrences en ppm mais en fonction du degré d'innovation du système.

La grille est ainsi la suivante :

F	Critère d'appréciation
1	Caractéristique et solution déjà fiabilisées, même environnement et même utilisation
3	Caractéristique et solution déjà fiabilisées, mais environnement et utilisation différente
5	Caractéristique définie au dessin mais la fiabilité n'est pas démontrée
7	Il existe une référence en série mais elle est mal définie ou mal connue
10	Caractéristique non définie au dessin, ou inconnue, ou interprétable

Tableau 1.20 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par Renault

Même si le libellé n'est pas très précis, une telle grille est beaucoup plus aisée à utiliser pour le concepteur qu'une grille cotée en probabilité de défaillance. A ce titre, elle constitue notre grille constructeur préférée.

4.1.3.1.3 Grille proposée par le QS 9000

Dans le recueil FMEA associé au QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008], les constructeurs américains proposent la grille de cotation de l'occurrence suivante :

Likelihood of Failure	Criteria : Occurrence of Cause - DFMEA Design life/Reliability of Item/Vehicule	Criterie : Occurrence of Cause - DFMEA (incidents per Item/Vehicule)	Ranking
Very High	New technology/New design with no history	≥ 100 per thousand ≥ 1 in 10	10
High	Failure is inevitable with new design, new application or change in duty cycle/operating conditions	50 per thousand 1 in 20	9
	Failure is likely with new design, new application or change in duty cycle/operating conditions	20 per thousand 1 in 50	8
	Failure is uncertain with new design, new application or change in duty cycle/operating conditions	10 per thousand 1 in 100	7
Moderate	Frequent failures associated with similar design or in design simulation and testing	2 per thousand 1 in 500	6
	Occasional failures associated with similar design or in design simulation and testing	.5 per thousand 1 in 2,000	5
	Isolated failures associated with similar design or in design simulation and testing	.1 per thousand 1 in 10,000	4
Low	only isolated failures associated with almost identical design or in design simulation and testing	.01 per thousand 1 in 100,000	3
	No observed failures associated with almost identical design or in design simulation and testing	≤ .01 per thousand 1 in 1,000,000	2
Very low	Failure is eliminated through preventive control	Failure is eliminated through preventive control	1

Tableau 1.21 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le QS 9000

Comme la grille proposée par PSA, cette grille présente dans sa partie droite une cotation subjective basée sur le degré d'innovation et/ou des modifications du taux d'utilisation ou

des conditions ambiantes dans le cadre un carry-over ; et dans sa partie droite une cotation objective en pour-mille.

Si la partie droite de la grille, cotée en pour-mille, présente les mêmes avantages et les mêmes inconvénients que la grille PSA (à ceci près que les taux de défaillance proposés sont plus proche des taux recherchés dans l'industrie automobile), on pourrait cependant lui faire le reproche supplémentaire suivant : la présente grille ne dit pas à quel instant dans la vie du produit doit être faite l'évaluation du taux de défaillance. Or chacun sait que la fonction fiabilité part de 1 à l'instant zéro pour finir à 0 à l'infini. Ainsi, dire que l'occurrence est de 5 pour-mille en fin de garantie ou 5 pour-mille en fin de vie du véhicule ne revient évidemment pas au même. Pourtant, la grille d'occurrence du QS 9000 ne précise pas ce point !

La partie gauche de la grille, quant à elle, ressemble à la philosophie proposée par Renault. Une telle approche est évidemment beaucoup plus aisée à appréhender pour le concepteur que la cotation en pour-mille. Cependant, la grille mettant en parallèle degré d'innovation et ppm dont le lien n'est forcément pas bijectif, une certaine variabilité dans la cotation peut intervenir lorsque selon la défaillance analysée, le groupe choisit de coter une fois en référence à la partie gauche de la grille (cotation fonction du degré d'innovation), et à la ligne suivante, de coter en référence à la partie droite de la grille (cotation en pour-mille).

4.1.3.1.4 Grille proposée par le VDA

Dans la procédure FMEA associé au VDA [VDA, 1996], les constructeurs allemands proposent la grille de cotation de l'occurrence suivante :

Ranking	Evaluation ranking Index for the Occurrence likelihood O	Attributed failure quota in ppm	
10 9	<i>Very large</i> Very frequent occurrence of failure cause unusable, unsuitable design conception	500.000 100.000	
	8 7	<i>Large</i> Failure reason occurs again and again, problematic construction, not matured.	50.000 10.000
6 5 4		<i>Moderate</i> Occasionally occurring failure cause suitable construction advanced in degree of maturity	5.000 1.000 500
	3 2	<i>Low</i> occurrence likelihood of failure cause is low. Proven design	100 50
		1	<i>Very low</i> Occurrence of failure cause is improbable	1

Tableau 1.22 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le VDA

Dans sa partie droite, cette grille s'apparente à la grille proposée par le QS 9000, on peut donc lui associer les mêmes griefs ajoutés du fait que les libellés concernant les degrés de

maturité (partie gauche de la grille) ne sont pas très précis et donc peuvent générer une certaine variabilité dans la cotation.

4.1.3.2. Cotation de la gravité (ou sévérité)

4.1.3.2.1 Grille proposée par PSA

Dans sa procédure interne [PSA, 2003], le groupe PSA propose la grille de cotation de sévérité suivante :

Niveau	Définition
1	Défaillance minimale Le client ne s'en aperçoit pas
2	Défaillance mineure, que le client peut déceler mais ne provoquant qu'une gêne légère et aucune dégradation notable des performances du véhicule
3	
4	Défaillance avec signe avant-coureur qui mécontente le client, elle indispose le client ou le met mal à l'aise
5	
6	Défaillance entraînant une dégradation notable des performances du sous-ensemble ou du véhicule, elle mécontente le client
7	
8	Défaillance avec signe avant-coureur qui provoque un grand mécontentement du client et / ou des frais de réparation élevés
9	Défaillance sans signe avant-coureur qui provoque un grand mécontentement du client et / ou des frais de réparation élevés. Véhicule en panne
10	Défaillance sans signe avant-coureur impliquant des problèmes de sécurité et / ou de réglementation

Tableau 1.23 : Grille de cotation de la sévérité proposée par PSA

Cette grille est assez simple de conception, ne prenant en compte que la gêne ressentie par le client au volant de son véhicule. On peut cependant lui reprocher une formulation trop peu précise qui peut générer une forte variabilité d'un groupe d'analyse à l'autre.

De plus, le fait de ne coter la sévérité que sur le ressenti du conducteur peut être délicat à coter pour les équipementiers de rang assez élevés qui ne connaissent pas forcément l'impact de leur produit sur la perception conducteur.

Notez ici qu'est prise en compte la notion de signe avant-coureur de la défaillance. Cet élément nous semble judicieux car il est évident qu'il vaut mieux avoir affaire à une défaillance qui prévient qu'une défaillance subite, le client ayant, dans le premier cas, le temps de réagir.

4.1.3.2.2 Grille proposée par Renault

La grille de gravité de Renault [Renault, 2000] présente l'avantage de proposer une cotation non seulement selon le ressenti du client conducteur du véhicule, mais également en fonction de l'importance de la fonction perturbée par la défaillance. Une telle approche devrait permettre aux équipementiers de rang élevés de mieux pouvoir évaluer l'impact des défaillances dans le cadre d'une ingénierie système correctement menée.

Ci-après la grille proposée par Renault :

G	Conséquences pour l'automobiliste	Fonction de service perturbée
1	Le client n'est pas en mesure de déceler cette défaillance potentielle	La nature minimale de la fonction de service perturbée n'entraîne pas d'effet perceptible sur les performances du véhicule ou de ses équipements
2 - 3	La défaillance potentielle constitue une gêne légère pour le client	La nature minimale de la fonction de service perturbée entraîne pas de dégradations notables des performances du véhicule ou de ses équipements
4 - 5	La défaillance potentielle indispose le client ou le met mal à l'aise	La fonction de service perturbée, avec signes avant coureur, entraîne une faible dégradation des performances du véhicule ou des ses équipements
6 - 7	La défaillance potentielle mécontente le client. Les frais de réparation sont modérés	La fonction de service perturbée, sans signes avant coureur, entraîne une dégradation notable des performances du véhicule ou des ses équipements
8	La défaillance potentielle entraîne un grand mécontentement du client. Les frais de réparation sont élevés.	La fonction de service perturbée, avec ou sans signes avant coureur, entraîne la perte d'une fonction non immobilisante pour le véhicule
9	La défaillance potentielle entraîne un grand mécontentement du client : véhicule immobilisé	La fonction perturbée entraîne une panne immobilisante pour le véhicule
10	La fonction perturbée entraîne une défaillance potentielle relative à la sécurité ou au non respect de la réglementation en vigueur	

Tableau 1.24 : Grille de cotation de la sévérité proposée par Renault

4.1.3.2.3 Grille proposée par le QS 9000

A notre avis, la grille proposée par le recueil FMEA associé au QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] est la grille proposée par les constructeurs automobile la plus simple à utiliser. Cette grille présente en effet, à l'instar de la grille Renault, une cotation en fonction de l'importance de la fonction perturbée (fonction primaire ou fonction secondaire) mais propose également une cotation en fonction du nombre de client susceptible de repérer la défaillance (notes de 1 à 4). Les expériences menées dans moult entreprises industrielles ont montré que cette approche est très simple à appréhender par les groupes de travail.

La grille de sévérité proposée par les constructeurs américains est la suivante :

Effect	Criteria: Severity of Effect on Product (Customer Effect)	Ranking
Failure to meet Safety and/or Regulatory Requirements	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10
	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9
Loss or Degradation of Primary Function	Loss of primary function (vehicle inoperable, does not affect safe vehicle operation).	8
	Degradation of primary function (vehicle operable, but at reduced level of performance).	7
Loss or Degradation of Secondary Function	Loss of secondary function (vehicle operable, but Comfort/Convenience functions inoperable)	6
	Degradation of secondary function (vehicle operable, but Comfort/Convenience operable at reduced level of performance).	5
Annoyance	Appearance or Audible Noise. Vehicle operable, item does not conform and noticed by most customers (> 75%).	4
	Appearance or Audible Noise. Vehicle operable, item does not conform and noticed by many customers (50%).	3
	Appearance or Audible Noise. Vehicle operable, item does not conform and noticed by discriminating customers (< 25%).	2
No effect	No discernible effect	1

Tableau 1.25 : Grille de cotation de la sévérité proposée par le QS 9000

4.1.3.2.4 Grille proposée par le VDA

La grille proposée par les constructeurs allemands au travers du VDA [VDA, 1996], est quand à elle relativement simple car elle présente peu de niveau. Cependant, ce qui pourrait être considéré comme un avantage a priori, se révèle en fait être délicat à utiliser pour les groupes de travail car ceux-ci ne savent pas forcément sur quels critères différencier les notes correspondant au même libellé.

La grille de sévérité proposée par la procédure FMEA associée au VDA est la suivante :

Ranking	Evaluation ranking Index for the Severity S
10 9	<i>Very large</i> Safety risk, non-compliance with statutory provisions, Conked-out vehicle
8 7	<i>Large</i> Operability of vehicle considerably impaired. Immediate inspection at garage is urgently required. Restriction functioning of important subsystems
6 5 4	<i>Moderate</i> Operability of vehicle impaired Immediate inspection at garage is not urgently required. Restriction functioning of important comfort and convenience systems
3 2	<i>Low</i> Minor restriction of operability of the vehicle. Clearing at the next scheduled inspection in garage. Minor restrictions of comfort and conveniences systems
1	<i>Very low</i> Very minor restrictions of operability, discernible only by the skilled personnel

Tableau 1.26 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le VDA

4.1.3.3. Cotation de la validation (ou détection)

4.1.3.3.1 Grille proposée par PSA

Dans sa procédure interne [PSA, 2003], le groupe PSA propose la grille de cotation de la détection suivante :

Niveau	Définition (probabilité que la cause et le mode de défaillance associé atteigne le client)	
1	0 à 2%	Quasi impossible
2	2% à 12%	Très peu probable
3	12% à 22%	Peu probable
4	22% à 32%	Très basse
5	32% à 42%	Basse
6	42% à 52%	Modérée
7	52% à 62%	Assez élevée
8	62% à 72%	Elevée
9	72% à 82%	Très élevée
10	82% à 100%	Quasi-certaine

Tableau 1.27 : Grille de cotation de la détection proposée par PSA

Coté gauche, cette grille permet une cotation objective basée sur la probabilité que, les démarches de validations mises en œuvre ayant accepté le design, le produit puisse présenter tout de même des défaillances avant la durée de vie objectif. Il s'agit donc ici de coter la pertinence des démarches de validation prévues en termes de taux de fuite.

Cependant, ce taux étant très délicat à évaluer, aussi bien en phase conception par les concepteurs et/ou les spécialistes du laboratoire, qu'à partir des retours client, les groupes de travail sont généralement contraints d'utiliser la partie droite de la grille où les notes sont données à partir du ressenti subjectif du groupe sur la pertinence des démarches de validation prévues.

4.1.3.3.2 Grille proposée par Renault

Sur le critère détection également, les grilles proposées par Renault [Renault, 2000] diffèrent des autres grilles classiques car ici, la cotation se fait en fonction du mode de validation mis en œuvre.

Cette grille est ainsi la suivante :

D	Critère d'appréciation
1	Validation sur véhicule (5x150000 km) et essais d'endurance suivi d'une analyse des composants
3	Essais sur banc et/ou véhicule
5	Chaînes de cote et calculs, simulations numériques, calcul de dimensionnement, maquette, ...
7	Remontage (au nominal, numérique), revue de plan, ...
10	Sans détection ou, ce qui est prévu est inefficace

Tableau 1.28 : Grille de cotation de la détection proposée par Renault

Ainsi, sont cotés à 7 tout ce que sont les validations par revues, à 5 les validations par calcul, à 3 les validations par essais physique sur banc et à 1 tout ce qui est validation par roulage (validation en conditions réelles). Une telle grille est ainsi très simple à utiliser par un groupe de travail ; en ce sens, elle constitue notre grille constructeur préférée.

Cependant, d'aucun diront que certains modes de validation numériques, cotés à 5 dans cette grille, peuvent être plus pertinents que des essais physique (pourtant notés à 3) grâce à l'étendue des calculs pouvant être menés (conditions normales, conditions limites voire hors limites, etc.) alors que le nombre d'essais physiques pouvant être menés est forcément plus réduit pour des questions généralement de coût.

4.1.3.3.3 Grille proposée par le QS 9000

La grille proposée par le QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] présente l’avantage de pouvoir coter la validation selon 3 types de critères comme le montre la grille suivante :

Opportunity for detection	Criteria: Likelihood of Detection by Design Control	Rank	Likelihood of Detection
No detection opportunity	No current design control; cannot detect or is not analyzed	10	Almost impossible
Not likely to detect at any stage	Design analysis/detection controls have a weak detection capability; virtual Analysis (e.g., CAE, FEA, etc.) is not correlated to expected actual operating conditions	9	Very Remote
Post Design Freeze and prior to launch	Product verification/validation after design freeze and prior to launch with pass/fail testing (Subsystem or system testing with acceptance criteria such as ride and handling, shipping evaluation, etc.)	8	Remote
	Product verification/validation after design freeze and prior to launch with test to failure testing (Subsystem or system testing until failure occurs, testing of system interactions, etc.)	7	Very Low
	Product verification/validation after design freeze and prior to launch with degradation testing (Subsystem or system testing after durability test, e.g., function check)	6	Low
Prior to Design Freeze	Product validation (reliability testing, development or validation test) prior to design freeze using pass/fail testing (e.g. acceptance criteria for performance, function checks, etc.)	5	Moderate
	Product validation (reliability testing, development or validation test) prior to design freeze using test to failure (e.g. until leaks, yield, cracks, etc.)	4	Moderately High
	Product validation (reliability testing, development or validation test) prior to design freeze using degradation testing (e.g. data trends, before/after values, etc.)	3	High
Virtual Analysis - Correlated	Design analysis/detection controls have a strong detection capability; virtual Analysis (e.g., CAE, FEA, etc.) is highly correlated with actual or expected operating conditions prior to design freeze	2	Very High
Detection not applicable, Failure Prevention	Failure cause or failure mode can not occur because it is fully prevented through design solutions (e.g. proven design standard, best practice or common material, etc.)	1	Almost Certain

Tableau 1.29 : Grille de cotation de la détection proposée par le QS 9000

La colonne de droite, à l’instar de la grille PSA, propose un mode de cotation purement subjectif. Ce mode de cotation entraine inévitablement une grande variabilité de cotation en inter-groupes de travail

La colonne centrale propose un mode de cotation en fonction du type d’essais de fiabilité [Pages, 1980] prévu :

- test selon la technique dite de la suite de succès : on met n systèmes en essai jusqu'à la durée visée, l’objectif est validé si on ne relève aucune défaillance, n dépendant du taux de défaillant objectif et du niveau de confiance recherché par la formule :

$$n = \frac{\ln(1 - \text{confiance})}{\ln(1 - \text{proportion_défaillants_objectif})}$$

- Test de fiabilité exploratoire modélisant les instants de défaillance généralement par une loi de Weibull.
- Test de fiabilité avec mesure de dégradation : dans ce type de test, on tente de mettre en corrélation la dégradation des systèmes (par exemple usure des plaquettes de frein, prise de jeu d’une articulation, ...) et le nombre de cycle

effectué. La validation est prononcée si la dégradation au nombre de cycles objectif est inférieure à un niveau de dégradation seuil.

Ce type d'approche est très intéressant mais présente l'inconvénient, à notre avis, d'être trop tourné « essais physiques ». Un mode de validation par calcul (chaîne de cote, résistance des matériaux, etc...) n'est pas ici près en compte.

La troisième colonne propose une cotation en fonction du positionnement de la démarche de validation dans le projet (avant / après gel du design – design freeze ; avant / après lancement produit). Une cotation selon ce critère est évidemment très facile à coter pour un groupe de travail, cependant, dans ce cas, la pertinence technique du mode de validation n'est pas évaluée.

4.1.3.3.4 Grille proposée par le VDA

La grille proposée par le recueil FMEA associé au VDA [VDA, 1996] est très semblable à la grille proposée par PSA. Ici également, la validation peut être cotée de façon subjective (colonne de gauche) ou en fonction du taux de fuite des démarches de validation prévues. Remarquons que pour cette colonne de droite, l'échelle des probabilités est très resserrée d'où la très grande difficulté pour un groupe de travail de bien discriminer les niveaux. Il en résulte une utilisation quasi-unique de la partie subjective de la grille.

Ranking	Evaluation ranking Index for the Detection likelihood D	Certainty of detection method
10 9	<i>Very low</i> Detection of occurred failure causes is improbable. Reliability of design has not been or can not be proven. Detection methods are uncertain.	90%
8 7	<i>Low</i> Detection of occurred failure causes is less probable. Reliability of design can probably not be proven. Detection methods are uncertain.	98%
6 5 4	<i>Moderate</i> Detection of occurred failure causes is probable. Reliability of design could perhaps be proven. Detection methods are relatively certain.	99,7%
3 2	<i>Large</i> Detection of occurred failure causes is very probable conformed by several detection methods independent of each other.	99,9%
1	<i>Very low</i> Occurrence failure cause will certainly be detected	99,9%

Tableau 1.30 : Grille de cotation de la détection proposée par le VDA

4.1.3.4. *Tableau de comparaison synthétique*

Comme nous l’avons dit en introduction du paragraphe consacré à la cotation, il n’existe pas de grilles idéales, applicables quelque soit le secteur d’activité ou le produit fabriqué, chaque entreprise devant construire les grilles correspondant le mieux à son activité. Cependant, il nous semble que qu’un certain nombre d’avantages ou d’inconvénients génériques ressortent de l’analyse des grilles ci-dessus. Nous les avons résumés dans le tableau ci-après, les points notés en rouge correspondant à notre avis aux modes de cotation les plus aisés à utiliser pour les entreprises, quelqu’en soit l’activité :

Source		Occurrence	Gravité	Détection
PSA	Avantage	- Double niveau de cotation : Cotation objective en ppm ou cotation subjective	- Simplicité de la grille - Prise en compte du signe avant coureur de la défaillance	- Double niveau de cotation : Cotation objective en taux de fuite ou cotation subjective
	Inconvénient	- Impossibilité d’évaluer tous les taux de ppm en fin de vie	Ressenti conducteur parfois difficile à évaluer pour fournisseurs de rang élevés	- Taux de fuite impossible à évaluer en pourcentage
RENAULT	Avantage	- Cotation en fonction du degré d'innovation	- Double niveau de cotation : impact sur la fonction étudié ou impact sur l’automobiliste	- Cotation en fonction du mode de validation mis en œuvre
	Inconvénient	- Libellé peu précis		- Conditions de mise en œuvre des essais non définies
QS 9000	Avantage	- Double niveau de cotation : Cotation objective en ppm ou cotation subjective - Prise en compte des modifications du taux d’utilisation et/ou des conditions ambiantes pour un carry-over	- Cotation selon l’impact au niveau véhicule - Prise en compte de la variabilité des niveaux de ressenti client pour les défauts sensoriels	- Prise en compte du phasage de la démarche de validation dans le projet
	Inconvénient	- Instant de prise en compte des ppm non défini		- Libellé trop tourné essais physiques (autres démarches possibles non prises en compte)
VDA	Avantage	- Double niveau de cotation : Cotation objective en ppm ou cotation subjective en fonction du niveau de maturité	- Cotation selon l’impact au niveau véhicule	- Double niveau de cotation : Cotation objective en taux de fuite ou cotation subjective
	Inconvénient	- Instant de prise en compte des ppm non défini	Cotation délicate pour les fonctions secondaires	- Taux de fuite impossible à évaluer en pourcentage

Tableau 1.31 : Avantages et inconvénients des principales grilles constructeurs automobile

4.1.4. Nos propositions en termes de grilles de cotation d’AMDEC Produit

4.1.4.1. *Cotation de l’occurrence*

Bien que la plupart des grilles de cotation (PSA, QS 9000, ...) présentent une évaluation de l’occurrence en fonction de la proportion de défaillants (évaluation qui nous semble très délicate à faire de façon a priori de façon subjective et impossible à évaluer par des essais physiques pour tous les modes de défaillances), nous pensons qu’il est plus aisé pour le concepteur d’évaluer l’occurrence en fonction du degré d’innovation mis en œuvre dans le projet pour obtenir la fonctionnalité donnée. Ainsi, il nous semble qu’une grille type RENAULT soit la plus appropriée. Cependant, le libellé de cette grille n’étant pas toujours suffisamment clair pour la plupart des utilisateurs, nous proposons la grille suivante basée sur le degré d’innovation. Cette grille introduit le concept de brique technologique maintenant largement utilisée par les concepteurs de systèmes complexes. Cette grille a dès à présent été introduite avec succès dans plusieurs entreprises industrielles telles SOMFY ou SEB.

Occurrence	Note
Nouvelle conception innovante	10
Conception innovante pour l'entreprise mais technologie connue par d'autres secteurs d'activité (benchmark)	9
Brique technologique validée sur étagère , non encore reprise sur produit série	7
Forte modification d'une brique technologique éprouvée ou fortes modifications de ses conditions d'utilisation	6
Légère modification d'une brique technologique éprouvée ou conditions d'utilisation légèrement différentes	4
Reprise brique technologique éprouvée mais pas ou peu de recul en série (manque de temps, ...)	3
Reprise brique technologique éprouvée en série (mêmes conditions d'utilisation), avec taux de défauts acceptable	1

Tableau 1.32 : Proposition N°1 : Cotation en fonction du degré d'innovation

Cependant, certains concepteurs nous ont fait remarquer qu'une conception innovante mais plus simple présentait généralement moins de risque de défaillance qu'un système connu mais plus complexe. Aussi, nos dernières réflexions nous ont amenés à proposer une grille à double entrée qui prend en compte non seulement le degré d'innovation, mais également le degré de complexité de la conception étudiée (à la place de la grille proposée ici qui présente une échelle linéaire sans interaction entre les deux items, nous pourrions proposer une grille présentant une échelle sémantique à 4 niveaux par item permettant de mettre en évidence une interaction positive entre ces deux éléments) :

Forte	5	7	10
Moyenne	3	5	7
Faible	1	3	5
Innovation Complexité	Faible	Moyenne	Forte

Tableau 1.33 : Proposition N°2 : Cotation en fonction du degré d'innovation et de la complexité du système

4.1.4.2. Cotation de la gravité

Les grilles de sévérité proposées par les différents constructeurs automobile ne présentant que peu d'écarts méthodologiques les unes par rapport aux autres, sans comporter de griefs réhivitoires à nos yeux, nous avons envisagé un autre axe de cotation qu'est l'impact sur le projet de l'action corrective nécessaire à mettre en œuvre pour remédier à la défaillance :

Gravité	Note
Défaillance nécessitant une action corrective entraînant un dépassement des délais et du budget	10
Défaillance nécessitant une action corrective entraînant un dépassement des délais ou du budget	7
Défaillance nécessitant une action corrective impactant un passage de jalon	5
Défaillance nécessitant une action corrective n'impactant pas un passage de jalon	3
Pas d'effet	1

Tableau 1.34 : Grille de cotation en fonction du degré d'innovation que nous proposons

Une telle grille, très simple à appréhender par les groupes de travail est très appréciée car elle colle aux problématiques de coût et de délai inhérents à chaque membre de l'équipe projet.

Néanmoins, une telle grille biaise quelque peu la définition de la sévérité qui est la puissance de l'impact de la défaillance sur le client (utilisateur) et non sur l'équipe de conception. On a donc affaire ici à une grille de cotation qui pourrait relever de ce qu'on appelle une AMDEC projet.

De plus, cette grille viole la règle d'indépendance entre les critères de cotation. En effet, pour envisager une action corrective suite à une défaillance, il est nécessaire d'avoir détecté cette défaillance lors des démarches de validation. Or le taux de fuite des démarches de validation est, par définition, le troisième critère sur lequel se cote l'AMDEC. On se retrouve donc là face à ce qu'EXCEL qualifierait de « référence circulaire ».

Les remarques ci-dessus nous contraignent à suggérer de ne pas utiliser de grilles selon cette approche en AMDEC produit.

4.1.4.3. Cotation de la détection

Coter la détection correspond à évaluer la pertinence des démarches de validations mises en œuvre lors de la conception (revues, calculs, essais, etc...). Aussi, nous préférons appeler ce critère « validation » et conserver le terme « détection » pour la cotation du taux de fuite des démarches de contrôle en fabrication, évaluées en AMDEC Processus.

Contrairement à certaines grilles telles que celles proposées par PSA ou par le VDA qui cotent la validation en taux de fuite des démarches de validation exprimé en pourcentage (valeur impossible à évaluer mathématiquement et très délicate à appréhender de façon subjective), la première grille que nous proposons reprend un mode de cotation en fonction de l'instant de validation tel que déjà abordé par la grille du QS 9000 avec un niveau de précision plus élevé :

Validation	Note
Pas de validation	10
Validation en phase série (quelques produits déjà sur le marché)	8
Validation en phase présérie (produits fabriqués sur processus série)	6
Validation en phase prototypes	4
Validation en phase études (revue, calculs, etc...)	2
Validation en phase spécifications (maquettes, ...)	1

Tableau 1.35 : Proposition N°1 : Cotation en fonction du positionnement de la démarche de validation

Cependant, quid des validations multiples effectuées tout le long du processus de développement ?

Pour palier ce problème, on pourrait imaginer de ne coter l'item recherché qu'en fonction de la position de la dernière validation mise en œuvre dans le projet.

Mais une telle grille ne prend pas en compte la pertinence technique du mode de validation mis en œuvre, aussi, nos réflexions nous ont amenées à une grille de cotation fortement inspirée de celle proposée par RENAULT qui cote la validation en fonction du mode de validation mis en œuvre mais qui intègre également les conditions d'essais pour les validations physiques. Une telle grille nous semble bien répondre à la problématique de la cotation de la pertinence de la démarche de validation tout en restant très aisée à mettre en œuvre par le groupe de travail. A ce titre, elle a été reprise par plusieurs des entreprises avec lesquelles nous avons travaillé :

Validation		Note
Défaillances de fiabilité	Défaillances à t=0	
Pas de validation	Pas de validation	10
Validation par revue	Validation par revue	8
Calculs de fiabilité prévisionnels	Validation par calcul (Définition numérique, Chaînes de cotes, ..)	6
Endurance protos au nominal, conditions nominales	Test fonctionnel sur protos au nominal, conditions nominales	4
Endurance protos intégrant variabilité production et conditions normales ou proto au nominal et conditions sévériées	Test fonctionnel sur protos intégrant variabilité production et conditions normales ou proto au nominal et conditions sévériées	3
Endurance protos intégrant variabilité production, conditions sévériées	Test fonctionnel sur protos intégrant variabilité production, conditions sévériées	2
Endurance "produits pré-série" par panel client	Test fonctionnel pièce "pré-série" en conditions réelles	1

Tableau 1.36 : Proposition N°2 : Cotation en fonction du mode de validation mises en œuvre

Mais la plupart des grilles de validation proposées ci-dessus sont très délicates à utiliser des lors qu'une défaillance est validées par plusieurs démarches successivement. Aussi, nous proposons une approche type Matrice QA [Renault, 2001] de RENAULT où la validation est d'autant plus efficace qu'il y a redondance dans les détections (fait de plusieurs manières différentes et à différents instants dans le projet).

La grille proposée ci-après, associe un nombre de points aux principales méthodes de validation (les modes de validation et la valeur des points correspondant étant la synthèse de plusieurs grilles de ce type réalisées avec divers industriels, puis appliquée par un groupe d'industriels pilote) ; la note de validation finale étant la somme des points obtenus par la mise en œuvre de l'ensemble des démarches de validation lors du projet.

Mode de validation	Points	Σ des points	Note
Revue de Validation	1 point	0	10
Calculs prévisionnel avec faible coefficient de sécurité ou hypothèses non sûres	2 points	$0 < \Sigma \text{ des points} \leq 2$	8
Test protos sur banc en conditions nominales	4 points	$2 < \Sigma \text{ des points} \leq 6$	6
Calculs prévisionnel avec fort coefficient de sécurité ou hypothèses sûres	6 points	$6 < \Sigma \text{ des points} \leq 10$	4
Test protos sur banc intégrant les variabilités de production et de conditions d'utilisation recherchée par un P-Diagramm	8 points	$10 < \Sigma \text{ des points} \leq 15$	2
Endurance "produits pré-série" par panel client	10 points	$\Sigma \text{ des points} > 15$	1

Tableau 1.37 : proposition N°3 : Grille de cotation en fonction du nombre et de la pertinence des démarches de validation mises en œuvre

Dans cette grille, nous avons introduit 2 niveaux en termes de validations par essais physiques. Le premier correspondant aux essais sur banc dans les conditions nominales auquel nous avons donné 4 points et le second intégrant les variabilités de production comme d'utilisation auquel nous avons donné 8 points.

De même, si on imagine un plan de validation dans lequel une défaillance est validée tout d'abord par un calcul de fiabilité prévisionnel avec un fort coefficient de sécurité, puis par des essais physiques d'un prototype sur banc en conditions nominales, le nombre de point résultant sera donc de 10 (6 pour le calcul prévisionnel et 4 pour le test proto sur banc) ce qui donnera une note de validation de 4.

Cependant nombre d'industriels, tout en étant convaincus par la justesse d'une telle grille, n'ont pas désiré l'introduire dans leur procédure d'AMDEC, la jugeant trop compliquée à utiliser pour les groupes de travail.

En utilisant les grilles de cotation présentées ci-dessus, le groupe de travail a coté l'AMDEC de son rasoir, le tableau ci-après en montre le résultat :

AMDEC Produit : GRILLE D'ANALYSE																				
Produit : Rasoir		Analyse fonctionnelle				Pilote : Nicolas S.				Animateur : François F.										
Référence : BIC-JET		Date : 14/07/08				Indice : A				Date : 25/12/08				Indice : Page :						
N°	Situation de vie	FONCTION		CLIENT			CONCEPTION			NOTES				ACTIONS			RESULTATS			
		Fonction	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	CC	CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés			
										O	G	V	C	Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'
1	Utilisation	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Client impatient		Définition longueur lame trop courte	Rien	Test sur panel client	7	3	1	21								
2			Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Désagrément du client		Choix matériau tête à coefficient de frottement trop fort	Rien	Test protos sur faux visage	7	5	3	105								
3			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client	CS	Choix matériaux lames qui s'use trop vite	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	Revue matériaux	1	8	7	56								
4			Durabilité inférieure à 1 an	Client mécontent => risque perte client	CS	Mauvaise définition du mode de soudage manche / tête qui se désolidarise	Soudage US avec 3 points de fusion	Rien	3	8	10	240								
5		Fp2	Taux d'hommes satisfait du confort de rasage < 90%	Désagrément du client		Plaquette trop peu soluble dans l'eau	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Test sur panel client	1	5	1	5								
6			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client	CS	Plaquette trop soluble dans l'eau	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux	1	8	7	56								
7			Taux d'hygrométrie surfacique de la peau < 85%	Désagrément du client		Mauvais choix de plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux	1	5	7	35								
8		Fc1	....	....		...	...								

Tableau 1.38 : Partie cotation de l'approche fonctionnelle de l'AMDEC Produit du rasoir

La cotation effectuée, reste à définir les actions correctives à mettre en œuvre pour réduire les criticités les plus élevées.

4.1.5. Actions correctives à mettre en œuvre suite à l'AMDEC Produit

La dernière phase de l'AMDEC consiste à imaginer puis à mettre en œuvre des actions correctives pour réduire les criticités des items les plus élevés.

Alors que le recueil FMEA associé au QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] préconise de déclencher les actions correctives par une approche d'amélioration continue (on cherche une action corrective pour la défaillance présentant la criticité la plus élevée, puis pour celle d'après, et ainsi de suite,...), la plupart des littératures définissent un seuil de déclenchement. Ainsi, PSA [PSA, 2003] définit son seuil de déclenchement à 65 (seuil permettant d'engager des actions sur les deux tiers des valeurs de criticité possible).

Renault de son côté, définit son seuil de déclenchement en fonction de la note de gravité donnée à l'item correspondant. Ainsi, pour les gravités inférieures ou égales à 7, le seuil de déclenchement des actions correctives est de 100 ; pour les gravités de 8 et 9, le seuil passe à 50 ; et pour les gravités de 10, le seuil vaut 10. Une telle modulation du seuil de déclenchement des actions correctives est à notre avis très pertinente même si la dernière valeur nous semble exagérée. En effet, mettre un seuil de criticité à 10 pour les gravité de 10 veut dire que les valeurs d'occurrence et de validation doivent être à 1, soit, selon les grilles de Renault, un niveau d'innovation nulle et une validation nécessairement par roulage !

De notre côté, nous préférons ne pas définir de la valeur du seuil de criticité de façon dogmatique. En effet, définir un seuil génère nécessairement la sensation couperet de la limite : Pourquoi une criticité de 101 pour un seuil de 100 nécessiterait une action corrective alors que la défaillance présentant une criticité de 99 n'en aurait pas besoin, sachant que, vu la variabilité de la cotation, ces 2 valeurs pourraient être inversées si on refaisait la cotation deux minutes plus tard.

C'est pourquoi nous proposons de définir le seuil de déclenchement des actions correctives à la cassure du Pareto des criticités. Les Pareto des criticités présentent généralement 3 familles : les très critiques, les moyennement critiques et les faiblement critiques. Aussi, nous proposons d'adopter l'approche très pragmatique suivante :

- Action corrective obligatoire : pour les criticités les plus élevées (généralement au dessus de 100).
- Action corrective à mettre en œuvre si elle n'est pas chère : pour les criticités moyennes (entre 50 et 100 par exemple)
- Pas d'actions correctives : pour les criticités les plus basses (voire remonter ces niveaux de criticités que l'on pourrait qualifier en « sur-qualité » en baissant sa garde notamment au niveau des validations. Ce dernier point sera développé dans le chapitre 3 « vers une maîtrise de risque efficiente en conception »).

Pour réduire un niveau de criticité, le groupe de travail doit donc trouver une action corrective qui réduira l'occurrence, la gravité ou la détection, et ce de manière unique ou de façon combinée.

- Réduire l'occurrence consiste à reprendre la conception des composants du produit en termes de changement de matériau, de redimensionnement, ou de modification de forme, ou à changer le concept dudit produit.
- Réduire la gravité consisterait à réduire l'impact d'un mode de défaillance sur le client. Cela ne peut se faire au niveau du système car cela voudrait dire casser la relation entre le mode de défaillance et son effet sur le client, effet complètement dépendant de l'utilisation du système et donc du client. Ainsi, en première approche, on peut affirmer qu'il est impossible de modifier la gravité d'une défaillance. Cependant, dans le cadre d'une ingénierie système, si le concepteur du niveau n+1 décide d'ajouter un protecteur pour palier à la défaillance du système de niveau n, la gravité associée à la défaillance d'une fonction du niveau n, pourrait alors être baissée. Ce cas, rarement envisagé, méritait d'être signalé ici.
- Pour réduire la note de validation (détection), le groupe de travail devra décider d'améliorer la pertinence des démarches de validations prévues. Dans le cas de validations physiques, il essaiera de valider mieux (mener des essais selon un profil de mission d'essai mieux corrélé avec le profil de mission réel) ou plus (augmenter le nombre de systèmes à mettre en essai pour mieux s'affranchir de la fluctuation d'échantillonnage).

D'un point de vue qualité client, peu importe si le groupe décide de réduire prioritairement le critère d'occurrence ou de validation (la gravité étant, nous l'avons dit, généralement invariante), cependant, en termes de gestion de projet, il est évident que le groupe de travail devra, tant que faire ce peut, tenter de réduire les occurrences avant de chercher à baisser les criticités par la note de validation. En effet, les validations intervenant nécessairement après la conception (partie remontante dans une modélisation de développement selon le cycle en V), se rendre compte d'une défaillance lors d'une démarche de validation entraîne nécessairement une reprise de la conception et donc la mise en œuvre d'un nouveau cycle conception / validation et donc inmanquablement une perte de temps.

L'action corrective envisagée sera renseignée dans la colonne 15 de notre formalisme, le responsable de ladite action ainsi que le délai alloué seront mentionnés respectivement dans les colonnes 14 et 16.

De façon générale, les actions correctives « miracle », n'existent que très rarement, les concepteurs ayant en général, déjà intégré les solutions les plus simples dans leur conception. Les participants à l'analyse n'étant pas tous concepteurs, nous conseillons de ne pas rechercher les actions correctives en séance AMDEC mais de retourner le résultat de l'analyse quantitative au demandeur de l'AMDEC (défini comme étant le pilote du groupe) qui lui, pourra reconstituer un groupe de travail le plus adapté pour traiter telle ou telle défaillance.

Il est alors important que le groupe AMDEC analyse ensuite les risques inhérents aux actions correctives envisagées (il serait dommage que la solution corrective apportée comporte plus de risques que la solution initiale) [Chen, 2007]. Les résultats espérés de l'action corrective seront donc réévalués en termes de nouvelle occurrence (O'), nouvelle gravité (G') et de nouvelle validation (V') dans les colonnes 17 à 19, la nouvelle criticité se trouvant calculée dans la colonne 20. Cette nouvelle criticité étant une criticité espérée, elle sera évaluée dès la formalisation sur le papier de l'action corrective pour en évaluer la pertinence. Il s'agit donc là d'une criticité espérée, évaluée avant la mise en œuvre de ladite action, qui devra être validée dans les faits une fois l'action corrective effectivement mise en œuvre.

Certaines littératures, à l'instar de PSA [PSA, 2003], proposent un autre formalisme appelé suivi des actions correctives, pour renseigner la criticité des défaillances une fois l'action corrective effectivement mise en œuvre. D'autres comme le recueil FMEA associé au QS 9000, proposent une colonne supplémentaire appelée « actions taken » positionnée juste avant la nouvelle cotation :

- si cette colonne demeure vierge, c'est que l'action corrective n'a pas encore été mise en œuvre et donc que la cotation présentée est une cotation espérée.
- Si cette colonne est renseignée, c'est que l'action corrective a été effectivement mise en œuvre, et que la cotation « prime » présentée est une cotation réelle.

De notre côté, nous préférons ne conserver que la cotation espérée. Une fois l'action corrective menée, nous reprenons l'AMDEC en faisant évoluer l'indice du document pour conserver une traçabilité. Les actions correctives se retrouvent alors dans la colonne 8 « action de maîtrise » pour les actions jouant sur l'occurrence, ou dans la colonne 9 « plan de validation » pour les actions ayant modifié la note de validation. Le résultat de ces actions en termes de criticité est alors calculé normalement dans la colonne 13, produit des colonnes 10 (occurrence), 11 (gravité) et 12 (validation).

Le résultat de l'AMDEC Produit de notre rasoir, dans son approche fonctionnelle, pourrait alors être le suivant :

AMDEC Produit : GRILLE D'ANALYSE																				
Produit : Rasoir		Analyse fonctionnelle				Pilote : Nicolas S.				Animateur : François F.										
Référence : BIC-JET		Date : 14/07/08				Indice : A				Date : 25/12/08				Page :						
N°	Situation de vie	FONCTION		CLIENT		CONCEPTION			NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
		Fonction	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés				
							O	G	V	C	Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'			
1	Utilisation	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Client impatient		Définition longueur lame trop courte	Rien	Test sur panel client	7	3	1	21								
2			Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Désagrément du client		Choix matériau tête à coefficient de frottement trop fort	Rien	Test protos sur faux visage	7	5	3	105	Francois H.	Reprise matériau tête éprouvé	SEM 26	3	5	3	45	
3			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client	CS	Choix matériaux lames qui s'use trop vite	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	Revue matériaux	1	8	7	56								
4			Durabilité inférieure à 1 an	Client mécontent => risque perte client	CS	Mauvaise définition du mode de soudage manche / tête qui se désolidarise	Soudage US avec 3 points de fusion	Rien	3	8	10	240	Roseline B.	Test résistance à l'effort de rasage sur protos	sem 28	3	8	3	72	
5		Fp2	Taux d'hommes satisfait du confort de rasage < 90%	Désagrément du client		Usure prématurée de la plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Test sur panel client	1	5	1	5								
6		Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client	CS	Usure prématurée de la plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux	1	8	7	56									
7		Taux d'hygrométrie surfacique de la peau < 85%	Désagrément du client		Mauvais choix de plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux	1	5	7	35									
8		Fc1	....	....		...										

Tableau 1.39 : AMDEC Produit du rasoir en approche fonctionnelle

L'exemple décrit ici illustre parfaitement la méthodologie pour un produit « mécanique ». Cependant, l'AMDEC est une méthodologie universelle qui peut s'appliquer à tout type de produits comme les systèmes électriques, électroniques, voire micro-électroniques [Cassanelli, 2006].

4.1.6. Mise à jour des AMDEC Produit

Une AMDEC Produit n'est jamais figée, elle devra être mise à jour en permanence. Cette mise à jour interviendra :

- A chaque modification de conception, l'AMDEC devant être parfaitement en phase avec le produit conçu à l'instant t.
- A chaque réclamation client. Le concepteur devra s'assurer que la défaillance correspondante a bien été prise en compte.
- En vie série, afin de s'assurer que les cotations initiales que l'on pourrait qualifier « d'espérées » sont bien en phase avec la réalité, notamment au niveau de l'occurrence.

Tous ces points démontrent que le suivi des AMDEC doit se faire en continu ou tout au moins tous les x temps (le x devant être le plus faible possible, tout en restant compatible avec les exigences économiques du bureau d'études) car, comme le dit Gérard LANDY [Landy, 2002] « si vous ne faites pas de mises à jour en continu, lorsque vous retravaillerez plus tard sur un produit comparable ou similaire, et souhaitez reprendre l'AMDEC déjà réalisée pour ne pas perdre de temps, vous vous apercevrez vite qu'il reste bien peu de choses d'actualité. Vous serez [alors] obligé de recommencer l'AMDEC intégralement et ferez ainsi grandir le clan de ceux qui pensent que dans l'AMDEC, on écrit toujours les mêmes choses, et on se pose toujours les mêmes questions... ».

4.2. L'AMDEC Produit : approche composant

L'approche « composant » de l'AMDEC Produit, appelée en anglais « Design FMEA » a pour d'étudier l'impact des défaillances des composants (ou des liaisons inter-composants). Aussi, ce type d'AMDEC est l'outil clé des études de fiabilité [Wang, 2005].

Le formalisme utilisé pour mener ce type d'analyse sera très proche de celui utilisé pour l'approche fonctionnelle, seules les 4 premières colonnes correspondant aux données d'entrée seront différentes :

AMDEC Produit : GRILLE D'ANALYSE																						
Produit :		Analyse fonctionnelle :				Pilote :		Animateur :														
Référence :		Date :		Indice :		Date :		Indice :		Page :												
FONCTION				CLIENT		CONCEPTION			NOTES				ACTIONS			RESULTATS						
N°	Fonction (libellé)	Composants / liaison	Défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	Pour quand ?	espérés					
									O	G	V	C					Qui ?	Fait quoi ?	O'	G'	V'	C'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
ANALYSE QUALITATIVE									ANALYSE QUANTITATIVE				SOLUTIONS PROPOSEES						EFFICACITE ATTENDUE			

Tableau 1.40 : Tableau d'analyse AMDEC produit - approche composant – inspirée du formalisme PSA

Comme le formalisme proposé pour l'AMDEC Fonctionnelle, cette grille sépare clairement les parties « analyse qualitative », « analyse quantitative », et « actions correctives ». Les seules différences entre l'approche fonctionnelle et l'approche composant se situant au niveau de l'analyse qualitative, nous ne reprendrons pas le descriptif des parties analyse qualitative et actions correctives pour l'approche composant.

Afin de tendre vers l'exhaustivité dans l'analyse des défaillances des composants et liaisons du système, nous conseillons de prendre le bloc diagramme de l'analyse fonctionnelle interne comme donnée d'entrée. En suivant le cheminement de chaque fonction à l'intérieur du système, l'analyse consiste à se poser la question des défaillances au niveau de la liaison entre le milieu extérieur et le premier composant, puis au niveau du premier composant lui-même, ensuite au niveau de la liaison entre le premier composant et le deuxième, puis au niveau du deuxième composant, et ainsi de suite.

Chaque liaison ou composant seront ainsi listé dans la colonne 3 de notre formalisme. La défaillance étant le caractère perceptible du mauvais fonctionnement d'un composant ou d'une liaison entre composants, elles vont s'exprimer en termes de casse, de corrosion, de désolidarisation des composants, etc. et seront notées dans la colonne 4. Les fonctions impactées par lesdites défaillances seront mentionnées dans la colonne 2.

Une représentation de la liaison entre l'AMDEC et le bloc diagramme fonctionnel de l'analyse fonctionnelle interne est présentée ci-dessous :

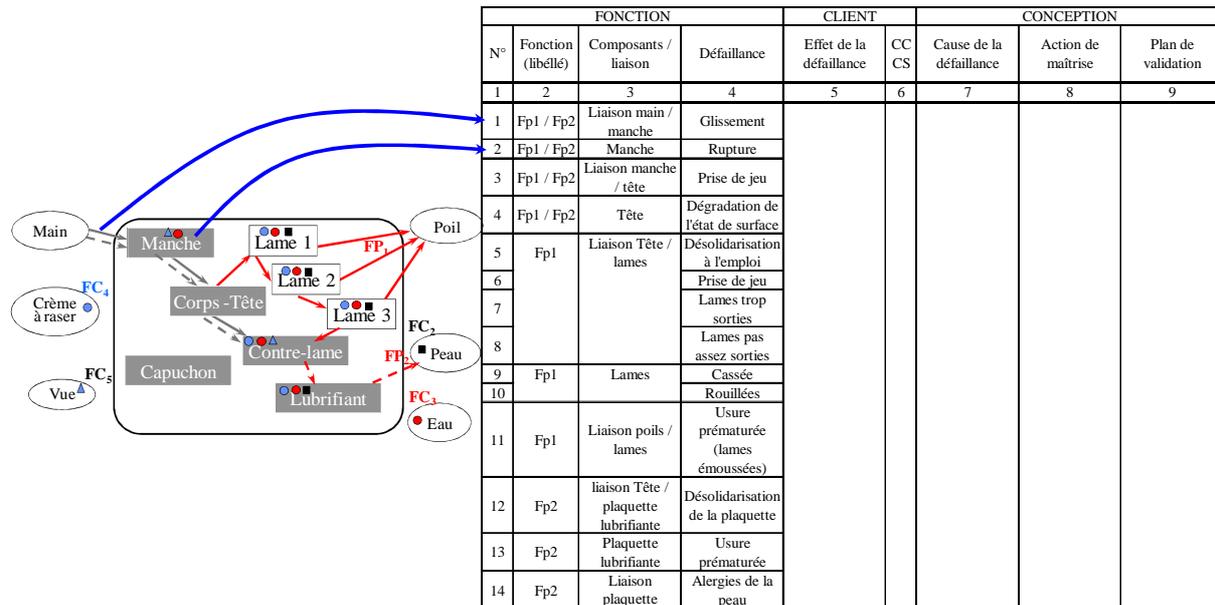


Figure 1.13 : lien bloc diagramme fonctionnel / AMDEC composant

Comme décrit dans le recueil FMEA du VDA [VDA, 1996], « les causes des défaillances sont recherchées pour chacune des défaillances potentielles des composants par l'investigation des données de conception (dimensionnement, choix de matériau, ...) ». Les causes sont donc exprimées en termes d'erreur de conception des sous-systèmes (niveau N-1) et sont renseignées dans la colonne 7. Comme pour l'approche fonctionnelle, il se peut qu'une défaillance puisse être engendrée par plusieurs causes. Dans ce cas, et pour ne pas surcharger l'analyse, le groupe ne mentionnera que la ou les causes les plus probables.

Les effets des défaillances sur le client sont renseignés dans la colonne 5. Par client, on entend potentiellement le fabricant interne du produit, le client aval (celui à qui on livre le produit et qui nous paye), le client utilisateur voire le recycleur. Chacun des ces clients pouvant successivement être impacté par la défaillance, ne sera classiquement noté dans cette colonne que l'effet sur le client le plus impacté. Si le groupe de travail ne sait pas bien déterminer lequel de deux clients est le plus impacté par la défaillance, les deux effets correspondants seront notés dans l'AMDEC et feront chacun l'objet d'une ligne distincte.

L'effet peut également être défini comme étant l'impact de la défaillance sur une fonction du système (fonction notée dans la colonne 2). Dans ce cas, cet impact s'exprimera en termes de mode de défaillance de la fonction avec les 5 modes de défaillances classiques que sont :

- * L'absence de fonction à la sollicitation.
- * L'arrêt de fonction.
- * La fonction dégradée
- * La fonction intempestive
- * La fonction intermittente.

L'impact de la défaillance pourra ainsi s'exprimer en non réalisation du critère de performance de la fonction, critère exprimé dans le cahier des charges fonctionnel. Par exemple, si on imagine une usure prématurée de la plaquette lubrifiante, l'effet pourrait être un certain inconfort dans l'utilisation du rasoir ; le confort étant le premier critère de la fonction « FP2 : hydrater » défini dans notre cahier des charges comme le montre le schéma suivant :

SV	Fonction	Groupe de mots	Critères	Niveaux	Flexibilité
	Fp2	Hydrater	Confort de rasage	> 90% hommes satisfaits	F1
			Fiabilité	10 rasages ± 2	F2
			Taux d'hygrométrie surfacique de la peau	85% ± 3%	F2
		Main	% gaucher	20% ± 3%	
			Acidité	Ph = 6,2 ± 0,1	
		Peau	Surface	Visage homme adulte	
			Acidité	Ph = 6,2 ± 0,1	

FONCTION				CLIENT		CONCEPTION		
N°	Fonction (libellé)	Composants / liaison	Défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation
1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Fp2	Plaquette lubrifiante	Usure prématurée	Inconfort de rasage		Mauvais choix de plaquette (trop peu soluble dans		

Figure 1.14 : lien CdCf / AMDEC composant

Comme pour l'approche fonctionnelle, attention à ne pas tomber dans le syndrome « effet papillon » lors de la recherche des effets, en imaginant des cascades d'effets avec des si. Si une défaillance entraîne un effet de niveau 1, lui-même cause d'un effet de niveau 2 qui pourrait entraîner un effet de niveau 3, ne sera noté que l'effet de niveau 1, l'effet de niveau 2 ne sera mentionné que si la liaison effet de niveau 1 – Effet de niveau 2 est sûre ou quasi-sûre.

Les autres colonnes de l'AMDEC Produit dans son approche « composant » se remplissent de la même façon que pour l'approche fonctionnelle. Aussi, nous invitons le lecteur à retourner dans le descriptif de l'approche fonctionnelle pour la fin de l'analyse.

L'AMDEC de notre rasoir dans son approche composant pourrait alors être la suivante :

AMDEC Produit : GRILLE D'ANALYSE																				
Produit : Rasoir			Analyse fonctionnelle				Pilote : Nicolas S.				Animateur : François F.									
Référence : BIC-JET			Date : 14/07/08				Indice : A				Date : 25/12/09									
FONCTION			CLIENT			CONCEPTION			NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
N°	Fonction (libellé)	Composants / liaison	Défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délaï Pour quand ?	espérés				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Fp1 / Fp2	Liaison main / manche	Glissement	Inconfort de rasage		Manche trop lisse	Reprise manche rasoir 1 lame	Test sur panel client	1	4	1	4								
2	Fp1 / Fp2	Manche	Rupture	Rasoir inutilisable (arrêt de fonction)	CS	Section trop faible	Calcul avec coef. Sécurité de 5	Test de robustesse par calcul RdM	1	8	5	40								
3	Fp1 / Fp2	Liaison manche / tête	Prise de jeu	Inconfort de rasage		Plastic tête pas assez résistant	Soudage US avec 3 points de fusion	Test de robustesse par calcul RdM	1	4	5	20								
4	Fp1 / Fp2	Tête	Dégradation de l'état de surface	Diminution de la durée de vie du rasoir		Plastic non résistant à l'eau savonneuse	Reprise matière tête du rasoir 1 lame	Rien	1	1	10	10								
5	Fp1	Liaison Tête / lames	Désolidarisation à l'emploi	Rasoir inutilisable (arrêt de fonction)	CS	Clipage tête / Contre lame trop faible	Rien	Revue de plan par spécialiste process	4	8	7	224	Martine A.	Soudure ultra-sons + test de fatigue	Sem 08	4	8	3	96	
6			Prise de jeu	Risque de coupure à l'utilisation	CC	Plastic tête pas assez résistant	Rien	Revue de plan par spécialiste matière	4	10	7	280	François F.	Mise en place d'une tête en acier	Sem 04	1	10	7	70	
7			Lames trop sorties	Risque de coupure à l'utilisation	CC	Variabilité process de moulage tête non pris en compte	Rien	Calcul par chaîne de cote	7	10	5	350	Michèle A. M.	Reprise dimension sortie lame standard + validation sur protos	Sem 10		1	10	3	30
8			Lames pas assez sorties	Mauvais rasage		Variabilité process de moulage tête non pris en compte	Rien	Calcul par chaîne de cote	7	4	5	140							1	4	3	12
9	Fp1	Lames	Cassée	Rasoir inutilisable (arrêt de fonction)	CS	Résilience acier trop faible	Rien	Calcul RdM	4	8	7	224	Laurent F.	Mise en place lames en acier trempé	Sem 04	1	8	7	56	
10			Rouillées	Mauvais rasage		Matériau ne résistant pas à l'eau savonneuse	Rien	Rien	4	4	10	160	Roseline B.	Test corrosion par brouillard sahn	Sem 12	4	4	3	48	
11	Fp1	Liaison poils / lames	Usure prématurée (lames émoussées)	Diminution de la durée de vie du rasoir		Matériau ne résistant pas à l'attaque des poils	Rien	Test sur panel client	7	1	1	7								
12	Fp2	liaison Tête / plaquette lubrifiante	Désolidarisation de la plaquette	Inconfort de rasage		Mauvais choix de plaquette (n'adhérant pas)	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue de plan par spécialiste matière	1	4	7	28								
13	Fp2	Plaquette lubrifiante	Usure prématurée	Inconfort de rasage		Mauvais choix de plaquette (trop peu soluble dans l'eau)	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue de plan par spécialiste matière	1	4	7	28								
14	Fp2	Liaison plaquette lubrifiante /	Allergies de la peau	Client mécontent qui passe à la concurrence	CC	Mauvais choix de plaquette non hypoallergique	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue de plan par spécialiste matière	1	10	7	70								

Tableau 1.41 : AMDEC Produit du rasoir en approche composant

4.3. Lien entre l'approche fonctionnelle et l'approche composant

Comme nous l'avons présenté ci-dessus, dans la vision « fonctionnelle » de l'AMDEC, les défaillances s'expriment en non réalisation du critère de performance de la fonction demandé au système (niveau N dans le découpage hiérarchique PBS du produit), les causes se situent au niveau des composants ou des liaisons inter-composants (sous-systèmes de niveau N-1 dans le découpage PBS) et les effets au niveau du client (à partir des systèmes des niveaux N+1). La vision « composants » quant à elle, présente les défaillances au niveau des composants du système (niveau N-1), les causes en termes de conception des niveaux N-1) et les effets en termes d'impact sur la fonction attendu du système (niveau N).

Ainsi, une fois l'AMDEC Produit dans sa vision « fonctionnelle » effectuée, les modes de défaillance passeront dans la colonne effets de l'approche « composants », et les causes correspondantes à ces modes de défaillances mentionnés dans l'approche « fonctionnelle » seront les défaillances considérées dans l'approche « composants ».

Il existe donc le lien suivant entre les deux types d'AMDEC :

AMDEC Produit approche "fonctionnelle" : GRILLE D'ANALYSE																					
Produit :		Analyse fonctionnelle :				Pilote :				Animateur :											
Référence :		Date :				Indice :				Date :				Indice :				Page :			
FONCTION				CLIENT		CONCEPTION				NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
N°	Situation de vie	Fonction	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés					
									O	G	V	C				Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		

AMDEC Produit approche "composants" : GRILLE D'ANALYSE																					
Produit :		Analyse fonctionnelle :				Pilote :				Animateur :											
Référence :		Date :				Indice :				Date :				Indice :				Page :			
FONCTION				CLIENT		CONCEPTION				NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
N°	Fonction (libellé)	Composants / liaison	Défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés					
									O	G	V	C				Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		

Figure 1.15 : Lien entre l'approche fonctionnelle et l'approche composant

On peut donc montrer ce lien sur notre exemple du rasoir :

AMDEC Produit approche "fonctionnelle" : GRILLE D'ANALYSE																					
Produit :		Analyse fonctionnelle :				Pilote :				Animateur :											
Référence :		Date :				Indice :				Date :				Indice :				Page :			
FONCTION				CLIENT		CONCEPTION				NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
N°	Situation de vie	Fonction	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés					
									O	G	V	C				Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
5	Rasage	Fp2	Taux d'hommes satisfait du confort de rasage < 90%	Désagrément du client		Usure prématurée de la plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Test sur panel client	1	5	1	5									

AMDEC Produit approche "composants" : GRILLE D'ANALYSE																					
Produit :		Analyse fonctionnelle :				Pilote :				Animateur :											
Référence :		Date :				Indice :				Date :				Indice :				Page :			
FONCTION				CLIENT		CONCEPTION				NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
N°	Fonction (libellé)	Composants / liaison	Défaillance	Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés					
									O	G	V	C				Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
13	Fp2	Plaquette lubrifiante	Usure prématurée	Inconfort de rasage		Mauvais choix de plaquette (trop peu soluble dans l'eau)	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue de plan par spécialiste matière	1	4	7	28									

Figure 1.16 : Lien entre l'approche fonctionnelle et l'approche composant

Fort de ces remarques, on peut résumer la mise en œuvre des AMDEC produit par le schéma suivant :

Approche Fonctionnelle (System FMEA)	Approche Composant (Design FMEA)
<p>Pour chaque fonction:</p> <p>1- Rechercher les modes de défaillance par rapport aux critères de performance du CdCF</p> <p>2- En rechercher les causes, au niveau du système n-1</p> <p>3- En rechercher les effets sur les systèmes niveau n et +</p> <p>4- Noter les actions de maîtrises mises en œuvre</p> <p>4- Noter les démarches de validations prévues</p> <p>5- Coter la Gravité (Sévérité) = f(effet sur client)</p> <p>6- Coter l'Occurrence (probabilité d'apparition de la défaillance eu égard aux actions de maîtrise mises en œuvre)</p> <p>7- Coter la Validation (Détection) = f(pertinence)</p> <p>8- Calculer de la criticité = O x G x V</p> <p>9- Définir les actions correctives à mettre en œuvre</p>	<p>Pour chaque fonction:</p> <p>1- Rechercher les défaillances au niveau système n-1 ("composant") et interfaces inter n-1</p> <p>2- En rechercher les causes au niveau de la conception (caractéristiques) du niveau n-1</p> <p>3- En rechercher les effets au niveau n ou + (= > non réalisation du critère du CdCF)</p>

Figure 1.17 : Procédure synthétique de réalisation des AMDEC produit

4.4. Définition des caractéristiques spéciales du produit

Comme nous l'avons dit plus haut, l'industrie automobile, au travers sa norme ISO TS 16949 [ISO, 2002], oblige chaque concepteur à définir ses caractéristiques spéciales ; une caractéristique prenant le caractère spécial si, en cas de défaillance de celle-ci, le client est fortement impacté. Le label « spécial » sera donc mentionné en fonction de la note de gravité attribuée à la défaillance et sera mise en lumière dans l'AMDEC par le sigle CS dans la colonne 6.

En approche fonctionnelle, les modes de défaillances se situent au niveau des fonctions attendues du système, aussi, le caractère spécial ou non sera tout d'abord défini pour chaque fonctionnalité du système.

Cependant, pour conserver cette information à tous les niveaux dans la conception hiérarchique du produit (ingénierie système), le caractère spécial doit être ensuite retranscrit sur le plan du produit et donc au niveau des caractéristiques techniques de celui-ci. Les caractéristiques techniques se situant au niveau de chacun des composants de notre système (niveau N-1 dans le découpage PBS du système), c'est donc au niveau de causes que ce fera le lien entre les caractéristiques spéciales définie dans l'AMDEC Produit en approche « fonctionnelle » et le plan du système.

Le schéma suivant montre ce lien :

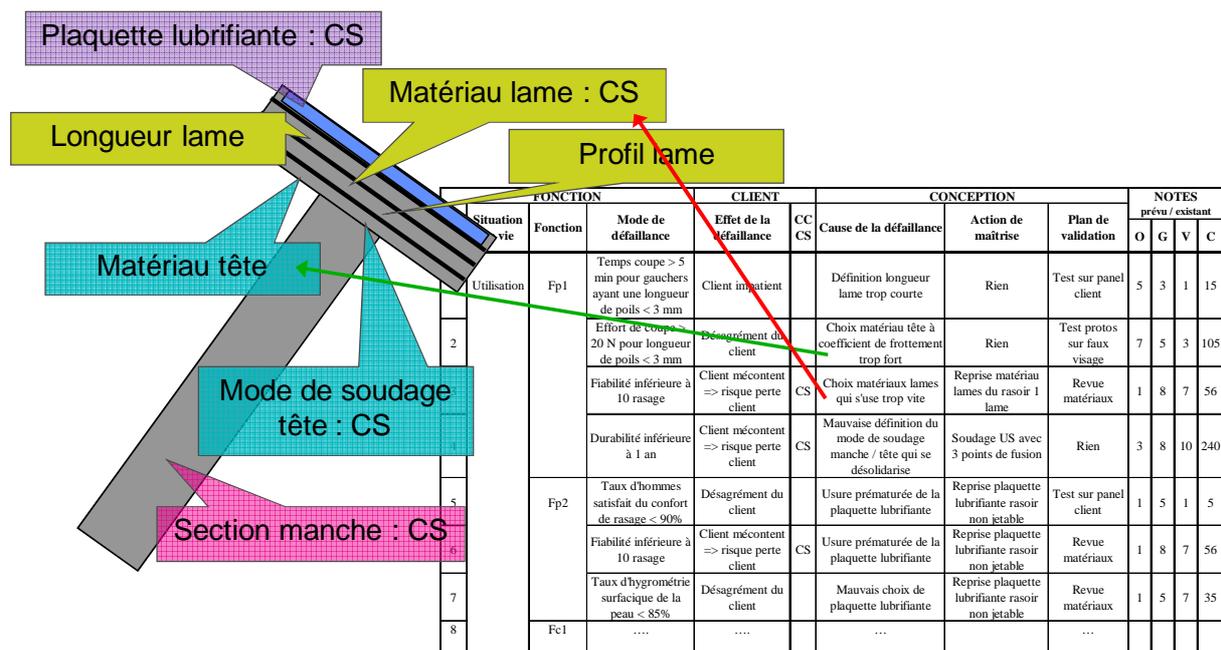


Figure 1.18 : Définition des caractéristiques spéciales du produit par l'AMDEC produit dans son approche fonctionnelle

On peut cependant remarquer dans l'exemple ci-dessus que si les causes sont mentionnées en termes de défaillance d'un sous système de niveau N-1 (comme par exemple à la ligne 5 de notre AMDEC : le taux d'inconfort trop élevé ayant pour cause une usure prématurée de la plaquette lubrifiante) et non en termes d'erreur de conception de ces sous-systèmes de niveau N-1 (par exemple la ligne 2 de l'AMDEC du rasoir : l'effort de coupe trop élevé a pour cause un mauvais choix de matériau de la tête), il est délicat pour le concepteur de définir quel est la caractéristique intrinsèque du composant à mentionner comme spécial.

L'approche « composant » de l'AMDEC produit, quant à elle, ne présente pas cette difficulté. En effet, dans cette approche, les défaillances se situent au niveau des sous-systèmes et les causes systématiquement en termes d'erreur de conception de ces sous-systèmes (mauvais choix de matériau, sous dimensionnement, ou mauvaise forme). Aussi, dans le cas où la défaillance du composant entraîne un impact jugé fort pour le client, c'est la caractéristique du composant correspondant à la cause de ladite défaillance qui sera définie comme spéciale.

Le schéma ci-dessous montre cette caractérisation :

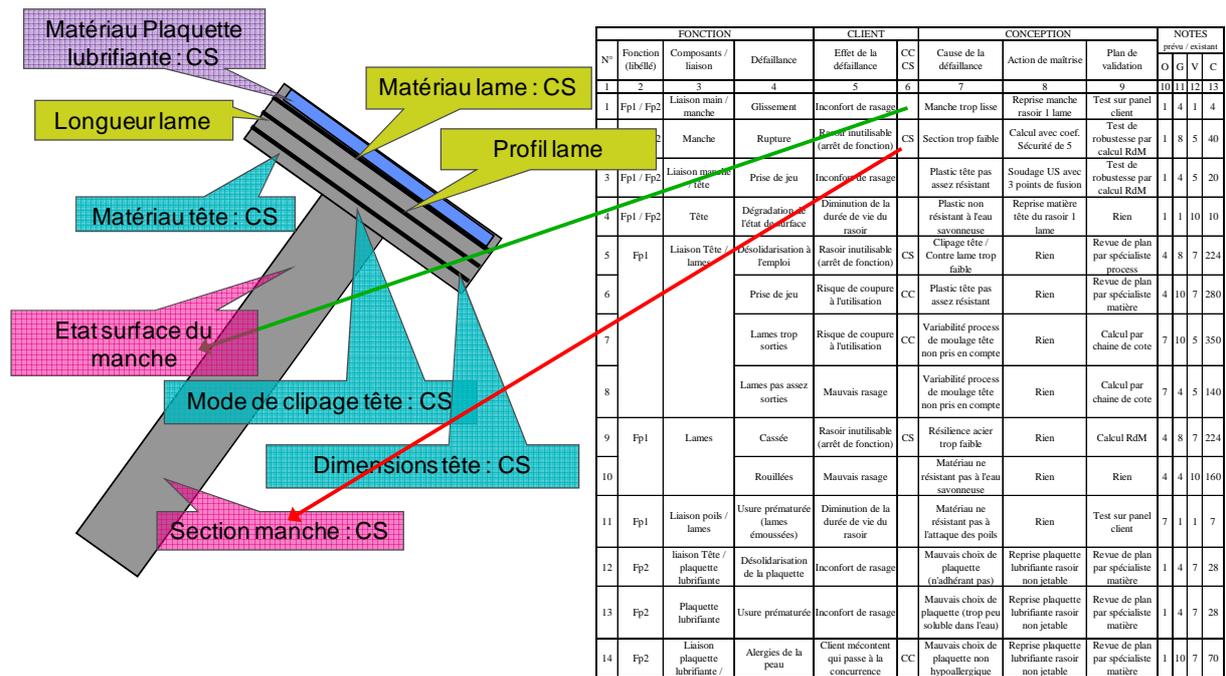


Figure 1.19 : Définition des caractéristiques spéciales du produit par l'AMDEC produit dans son approche composant

5. L'arbre de défaillance

L'arbre de défaillance [Limnios, 2005] est un outil destiné à déterminer les événements ou les différentes combinaisons possibles d'événements qui conduisent à la réalisation d'un événement redouté (ER). Ces combinaisons d'événements sont représentées graphiquement à l'aide d'une structure de type arbre, dans lequel les relations causes/effets sont schématisées par des portes logiques « ET » ou « OU ».

Cet outil a plusieurs utilités :

- Une visualisation de la "mécanique" pouvant amener à la défaillance
- Une évaluation de la robustesse de la conception par ce qu'on appelle le niveau de coupes.
- Une allocation fiabilité des différents composants du système par une quantification « top-down ».
- Une évaluation la fiabilité de l'événement redouté par une quantification Bottom-Up.

5.1. Arbre de défaillance, arbre des causes ou arbres d'événements

Ces arbres, que l'on pourrait appeler « cousins » car ils ont sensiblement la même représentation, n'ont pas tout à fait la même utilité. L'Institut de Maîtrise des Risques (IMdR) les différencie de la manière suivante dans son recueil de fiches méthodes [IMDR, 2006] :

« L'arbre de défaillances (en anglais : Fault Tree Analysis) et l'arbre d'événement (Event Tree) sont des **démarches d'analyse prévisionnelle** alors que l'arbre des causes est **une description a posteriori** d'un accident.

- L'arbre des défaillances se construit de la conséquence vers les causes, c'est-à-dire l'ensemble des combinaisons de défaillances, et éventuellement de circonstances, capables de provoquer l'événement redouté étudié.
- L'arbre d'événement se construit, à l'inverse, de la cause (l'événement) vers les conséquences possibles en prenant en compte toutes les alternatives qui peuvent modifier ces conséquences.
- L'arbre des causes part de l'accident qui s'est produit et décrit les enchaînements de causes (défaillances, circonstances, actions, fonctionnements normaux...) qui se sont combinés ce jour-là pour créer l'accident ; c'est une méthode particulièrement utilisée dans l'analyse des accidents du travail. »

La force d'une démarche de sûreté de fonctionnement, est d'analyser les défaillances potentielles avant qu'elles n'apparaissent ; aussi, au vu des définitions ci-dessus, c'est l'arbre de défaillance qui sera l'outil intéressant dans le champ de ce recueil. De plus, bien que construit en phase développement, notre arbre pourra servir de base de travail au traitement d'une future (et malheureusement toujours possible) défaillance en vie série, afin d'en accélérer l'action corrective.

5.2. Construction de l'arbre de défaillance

En accord avec la définition ci-dessus, un arbre de défaillance est un outil "déductif" : On part d'un effet pour en trouver ses causes. Cependant, contrairement au diagramme cause effet classique (aussi appelé diagramme d'ISHIKAWA) où chaque cause peut individuellement entraîner l'effet indésiré, l'arbre de défaillance permet, en plus, de mettre en évidence la combinatoire de ces causes entraînant l'événement redouté.

Classiquement, un arbre de défaillance est représenté verticalement, l'événement redouté étant tout en haut de l'arbre, mais de plus en plus de logiciels représentent l'arbre couché, l'événement redouté étant à gauche et les causes s'enchaînant vers la droite.

La norme CEI 1025 [UTE, 1990] propose une représentation de l'arbre de défaillance selon le schéma suivant :

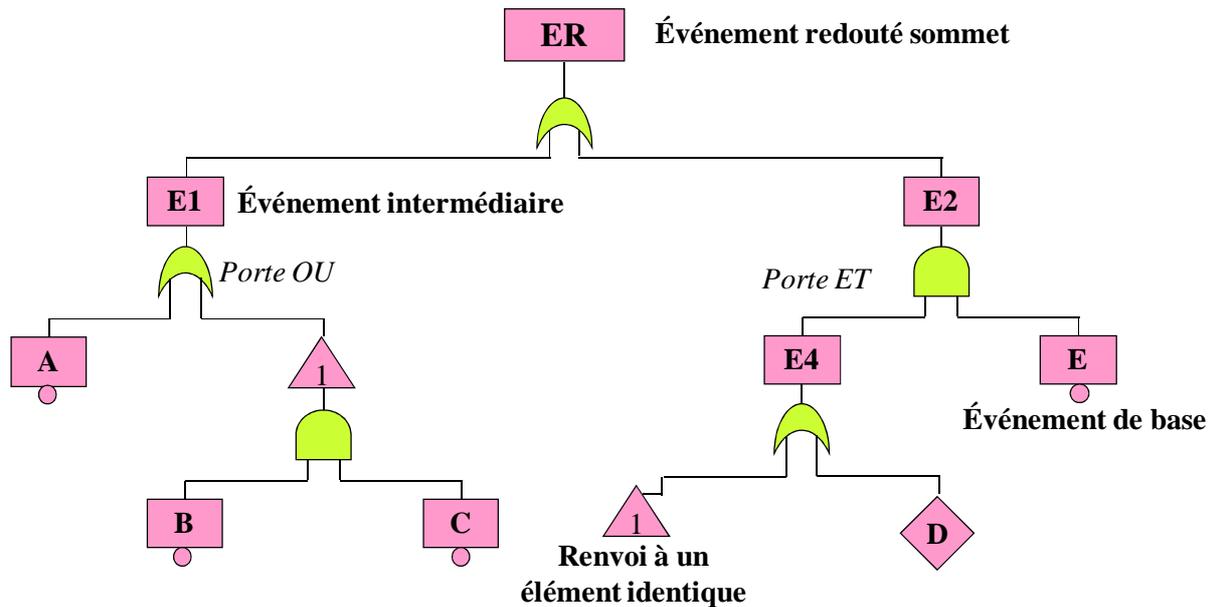


Figure 1.20 : Représentation d'un arbre de défaillance selon la norme CEI 1025

5.2.1. Définition de l'événement redouté (sommet de l'arbre)

L'événement redouté est l'événement indésirable pour lequel on recherche toutes les causes, et leur combinatoire, qui y conduisent. Cet événement est unique pour un arbre de défaillance et se trouve au "sommet" de l'arbre. Il doit être défini de façon précise. En effet, si l'événement redouté est beaucoup trop général (ex : Client mécontent), l'analyse risque de devenir gigantesque et donc impossible à réaliser. A l'inverse, si cet événement est trop spécifique, l'analyse risque de ne pas mettre en évidence les éléments importants du système.

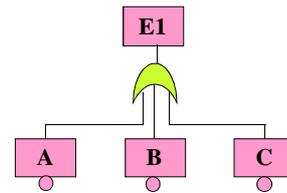
De plus, l'arbre de défaillance ayant pour objet de rechercher l'ensemble des causes d'un événement redouté, il serait titanesque de vouloir mener ce genre d'analyse pour l'ensemble des défaillances possibles du système. Aussi, il est recommandé d'effectuer une Analyse Préliminaire de Risques (décrite plus en amont dans ce recueil) pour analyser de façon précise et systématique l'ensemble des événements redoutés du système étudié afin d'identifier ceux qui méritent une recherche de cause exhaustive par un arbre.

5.2.2. Les portes logiques

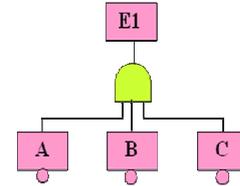
De l'ensemble des opérateurs logiques utilisés en logique booléenne, seuls le « ET » et le « OU » sont classiquement employés dans les arbres de défaillance. En effet, l'arbre de défaillance est particulièrement bien adapté aux événements combinatoires mais devient délicat à mettre en œuvre quand il s'agit d'événements séquentiels. Dans ce dernier cas, des outils tels que les réseaux de Pétri [David, 1992] semblent mieux adaptés mais leur description dépassent le cadre de ce recueil.

Porte « OU » :

L'événement E1 se produit dès qu'un événement élémentaire A, B ou C se produit

Porte « ET » :

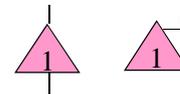
L'événement E1 ne se produit que si les événements élémentaires A, B et C se produisent simultanément.



Pour éviter de recopier inutilement des parties de dessin identiques d'une branche à l'autre de l'arbre du dessin, la norme CEI 1025 a prévu la possibilité d'utiliser un système de renvoi :

Renvois :

La partie de l'arbre qui suit le premier symbole se retrouve identique, sans être répétée, à l'endroit indiqué par le second symbole

5.2.3. Déroulé de l'analyse

L'analyse débute par la recherche des causes immédiates nécessaires et suffisantes pour obtenir l'événement redouté. Ces causes constituent des événements intermédiaires dont on recherchera les causes et leur combinatoire, et ainsi de suite. A chaque étape, la question pertinente pour rechercher les causes du niveau inférieur est « pourquoi ».

Les causes correspondant au niveau le plus bas de l'analyse sont appelées événements élémentaires ou causes racines. Pour les repérer sur le schéma, on leur adjoint un petit rond.

La difficulté de l'arbre de défaillance est de définir le niveau de détail idoine. De façon générale, nous considérons que les événements élémentaires correspondent aux défaillances des composants, un composant étant un sous-système réparable ou interchangeable.

Dans le cas d'un arbre de défaillance mis en œuvre dans le cadre d'une démarche de sûreté de fonctionnement d'un système développé selon les principes de l'ingénierie système, les événements de base correspondent aux défaillances des « sous-systèmes » de niveau N-1 définis dans notre découpage PBS comme le montre le schéma ci-dessous :

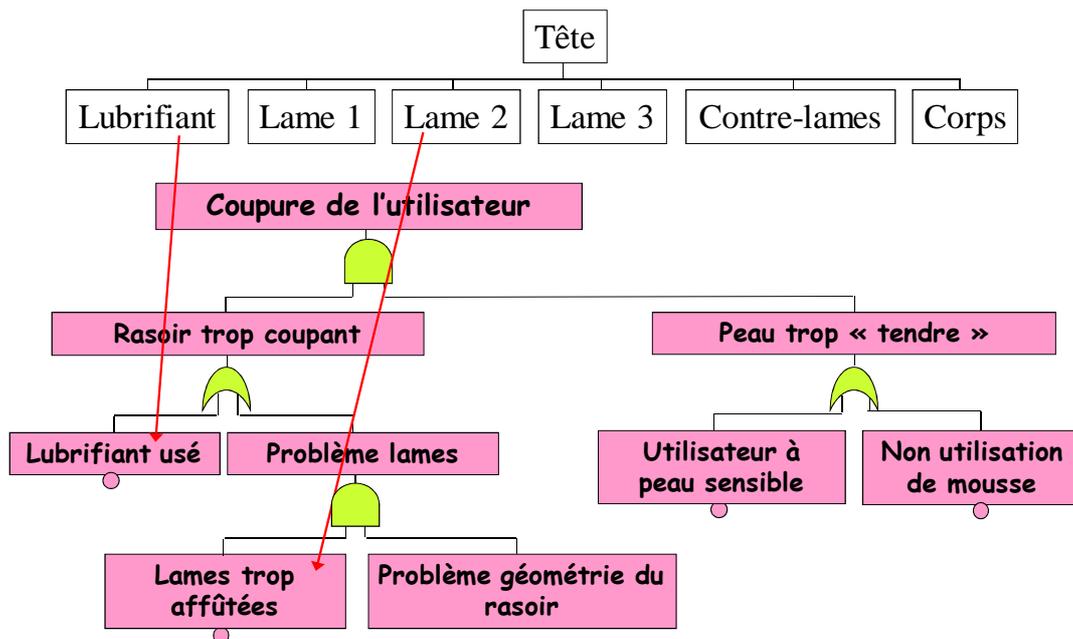


Figure 1.21 : Lien entre le découpage PBS et l'arbre de défaillance

Dans l'exemple ci-dessus, l'événement « lubrifiant utilisé » est défini comme étant un événement de base pour l'événement redouté « coupure de l'utilisateur » du système « rasoir ». Cependant, vu du concepteur dudit lubrifiant, « lubrifiant utilisé » pourrait être l'événement redouté dont il chercherait les causes. Les arbres de défaillances peuvent donc ainsi être qualifié de gigognes.

5.3. Evaluation de la robustesse de conception par le niveau de coupe

L'évaluation du niveau de coupe est une analyse qui consiste à coter la robustesse du système à chacune des causes premières. Si une cause première amène à l'événement redouté par une série de OU, elle est appelée de niveau 1 car elle seule entraîne l'événement redouté. Si elle passe par un ET, il faut qu'une autre cause élémentaire arrive simultanément pour entraîner l'événement redouté. Elle est alors de niveau 2 ; et ainsi de suite.

Plus les causes élémentaires ont un niveau de coupe élevé, plus la conception est robuste. On peut alors se donner la règle qu'il ne faut pas de causes élémentaires de niveau 1 sur les événements redoutés de gravité 4 (problèmes de sécurité). Une "redondance" est alors obligatoire. Cette règle, très classiquement mise en œuvre pour les systèmes de commande, ne peut évidemment pas toujours s'appliquer aux structures (un avion s'écrase s'il perd une de ses ailes, même s'il en a deux !)

Attention aux défaillances de mode commun [Vaurio, 2003]. On appelle défaillance de mode commun une défaillance qui provoquerait la défaillance de deux ou plusieurs autres éléments. Par exemple sur une voiture, les deux phares sont alimentés par deux circuits contenant chacun un fusible. Mais en cas de panne de batterie, aucun des deux circuits n'est alimenté. La panne de batterie est alors appelée défaillance de mode commun pour chacun des phares.

Dans cet exemple, la défaillance de mode commun « panne batterie » est très gênante parce qu'elle touche deux composants (les phares) dont les défaillances sont combinées

avec un « ET » pour entrainer l'événement redouté (perte d'éclairage). En effet, la défaillance des phares serait initialement considérée de niveau de coupe 2. Mais en cas de panne batterie, les deux côtés du « ET » étant impacté simultanément, le « ET » saute. Dans ce cas, la défaillance de mode commun doit être remontée au dessus du « ET » et se combine avec celui-ci par un « OU ». Elle sera alors considérée de niveau de coupe 1.

Le schéma ci-dessous illustre le mode de traitement de la défaillance de mode commun « panne batterie » :

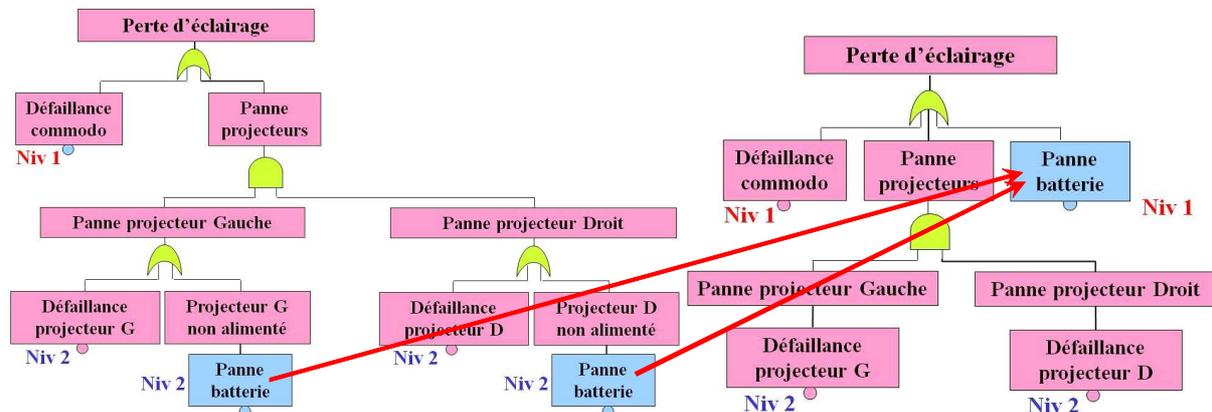


Figure 1.22 : Traitement des défaillances de mode commun

On peut remarquer dans l'exemple ci-dessus que la « défaillance du commodo » est également une défaillance de mode commun pour les projecteurs. Cependant, le groupe d'analyse l'avait initialement considéré comme une défaillance élémentaire, sans passer par le raisonnement qu'il a appliqué à la « panne batterie ». On voit donc ici que quelque soit le mode de raisonnement technique, les arbres, après modifications dues à la remontée des différentes défaillances de mode commun, deviennent semblables. La définition des niveaux de coupe dans un arbre de défaillance est donc insensible aux modes de raisonnement des groupes de travail.

Ces défaillances de mode commun ne seraient pas toujours aisées à repérer sans une analyse par arbre de défaillance.

5.4. Evaluation de la probabilité d'apparition de l'événement redouté

La quantification de l'arbre de défaillance permet d'évaluer la probabilité d'apparition de l'événement redouté. A partir de la probabilité d'apparition de chacune des causes élémentaires, on calcule la probabilité d'apparition de l'événement redouté en remontant l'arbre grâce à l'algèbre de BOOLE (quantification « Bottom – Up »). Ainsi :

- les probabilités se multiplient quand on passe une porte « ET »
- Les probabilités s'additionnent lorsqu'on passe une porte « OU » (cette addition « pure » est en fait une simplification du théorème de Poincaré qui dit que lorsque les événements A et B sont indépendants, $P(A \text{ ou } B) = P(A) + P(B) - P(A) \times P(B)$; mais, lorsque les probabilités $P(A)$ et $P(B)$ sont faibles – ce qui est souvent le cas en fiabilité – $P(A) \times P(B)$ devient négligeable).

Toute la difficulté de cette quantification réside dans l'évaluation de la probabilité d'apparition de chacune des causes élémentaires. Cette information peut être extraite :

- De façon prévisionnelle à partir du retour d'expériences issues de produits similaires. Pour les composants électroniques, ce retour d'expériences a été mutualisé entre les grands fabricants de composants et les principaux clients utilisateurs dans des recueils de fiabilité prévisionnelle appelés en anglais databases dont les plus connues sont la MIL HDBK 217 [USA Department of Defense, 1992] aux états unis et la UTE 80-810 [UTE, 2005] en France. Pour les systèmes mécaniques, des approches prévisionnelles type Contrainte / Résistance [Perroud, 1999] ou calcul de résistance des matériaux peuvent aussi être utilisés.
- Par des essais physiques (fiabilité expérimentale) sur bancs en laboratoire [Nelson, 1990].
- A partir des retours clients (fiabilité opérationnelle) [Co, 1984].

Le schéma suivant montre, à titre d'exemple, l'évaluation de la probabilité d'apparition (en rouge) de l'événement redouté « coupure de l'utilisateur » à partir de la probabilité d'apparition des différentes causes élémentaires (en bleu).

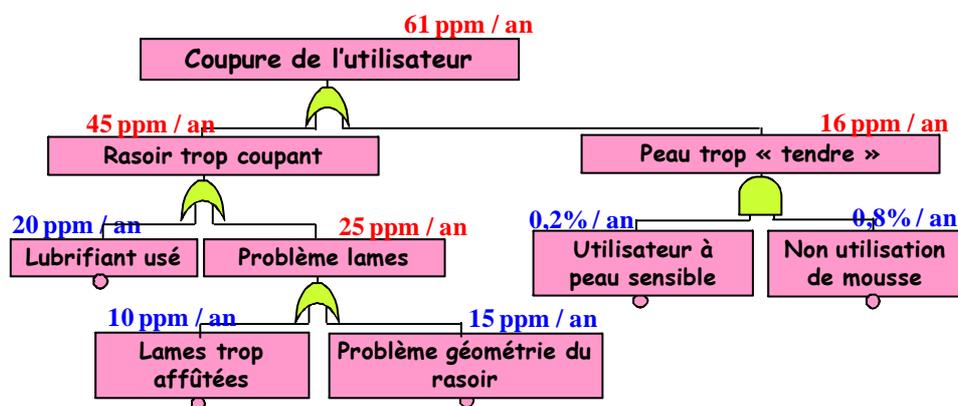


Figure 1.23 : Estimation de la probabilité d'apparition d'un événement redouté par l'arbre de défaillance

Attention : Dans tous ces traitements probabilistes, les valeurs ne doivent pas être considérées comme des absolus mathématiques. Il s'agit de probabilités, issues de données sur lesquelles de nombreuses hypothèses (connues ou cachées) sont faites. L'intérêt de l'approche réside plus dans les ordres de grandeur de ces probabilités que leurs résultats bruts issus de calculs numériques.

5.5. Allocation fiabilité des différents composants du système

L'arbre de défaillance peut également servir à allouer les objectifs de fiabilité à chacun des composants du système par une quantification de type « Top – Down ». A l'inverse de l'évaluation de la probabilité d'apparition de l'événement redouté vue précédemment, on donne un objectif de fiabilité à chacune des causes élémentaires (racines de l'arbre) en partant de l'objectif fiabilité alloué à l'événement redouté (sommet de l'arbre). A chaque passage de « ET », on prend la racine carrée de l'objectif de l'événement supérieur, ou on divise cet objectif en traversant un « OU » (une répartition peut également être effectuée au prorata des retours observés sur les systèmes de génération précédente).

Le schéma suivant montre, à titre d'exemple, l'allocation fiabilité de défaillances élémentaires (causes racines en rouge) permettant d'obtenir le niveau de fiabilité objectif de l'événement redouté « coupure de l'utilisateur » au sommet de l'arbre (en bleu)

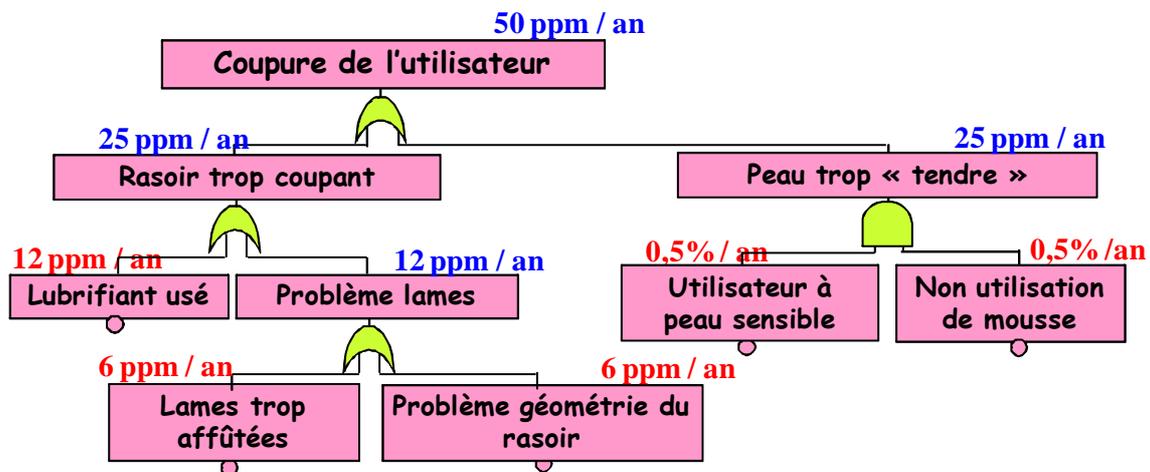


Figure 1.24 : Allocation fiabilité des événements racine de l'arbre de défaillance

Une telle approche peut permettre d'objectiver les valeurs des objectifs de fiabilité alloués aux fournisseurs de « sous-systèmes ». Elle est encore malheureusement trop peu appliquée dans l'industrie qui préfère des allocations génériques en fonction de l'importance de chacune des fonctions incriminée comme abordé dans le paragraphe « analyse préliminaire de risque » du présent chapitre.

6. Conclusion du chapitre

Dans ce premier chapitre de présentation des principaux outils de la maîtrise des processus de conception, nous avons décrit les quatre principaux outils de la Sûreté de Fonctionnement de la façon la plus détaillée possible en se reposant sur l'exemple déroulant du rasoir afin que le lecteur puisse, s'il le désire, suivre la « recette de cuisine » et être à même de mener ses propres analyses, en autonomie, au sein de son organisation.

Toute démarche de sûreté de fonctionnement commençant systématiquement par une analyse fonctionnelle, c'est par cet outil que nous avons démarré ce chapitre. Ainsi, nous avons tout d'abord décrit l'analyse fonctionnelle externe dont l'objet est d'analyser les attentes du client pour les formaliser dans un cahier des charges fonctionnel. A chaque étape de cet outil que sont :

- La recherche des environnants au système par situation de vie
- La recherche des liens entre le système et ses différents environnants (les fonctions)
- Le libellé desdites fonctions
- La définition des critères de performance relatifs à chaque fonction, de leur niveau attendu et du taux de négociation possible autour de ce niveau (la flexibilité) qui nous a donné le cahier des charges fonctionnel.

nous nous sommes efforcés d'en rappeler les règles d'élaboration et les pièges classiques dans lesquels le néophyte peut tomber. Nous avons également apporté une précision

autour de la notion de flexibilité, notion à notre avis trop vague dans la norme relative à cette analyse [AFNOR, 2007].

En complément de l'analyse fonctionnelle externe, nous avons présenté l'analyse fonctionnelle interne dont l'objet est de représenter schématiquement comment les fonctions définies ci-dessus sont réalisées par les différents composants du système, le point clef de cette analyse étant le découpage hiérarchique du système appelé découpage PBS pour Product breakdown Structure.

Le second outil abordé a été l'Analyse Préliminaire de Risque.

L'APR est une sorte d'AMDEC simplifiée où on analyse systématiquement les événements redoutés client engendrés par chacun des modes de défaillance des fonctions précitées.

Ces événements redoutés sont évalués en termes de gravité (puissance de l'impact sur le client) et d'occurrence (risque que survienne l'événement).

L'APR étant un outil de paramétrage des analyses de risque à effectuer par la suite, il convient de bien évaluer les critères de gravité et d'occurrence aussi, en plus des grilles classiques d'évaluation, nous avons proposé des grilles qui nous semblent plus aisées d'utilisation.

Lorsqu'on parle de démarche de sûreté de fonctionnement, on parle nécessairement d'AMDEC Produit. Aussi, la majeure partie de ce chapitre a été consacrée au descriptif de ce troisième outil en intégrant le maximum de « truc et astuces » afin que le lecteur puisse réaliser les siennes avec le maximum de pertinence.

L'AMDEC ayant pour objet de focaliser le concepteur sur les défaillances les plus critiques du système, il convient de réaliser au mieux la hiérarchisation de ces défaillances. Aussi, après avoir décrit les deux approches d'AMDEC Produit déroulable en conception (l'approche fonctionnelle et l'approche composant), nous avons réalisé une analyse critique des grilles de cotation classiquement proposées notamment par les constructeurs automobile, puis proposer des grilles les plus pertinentes et les plus universelles possible.

Le dernier outil décrit est l'arbre de défaillance.

L'arbre de défaillance est un outil qui permet d'analyser la combinatoire des causes qui amènent à un événement redouté. Cet outil a plusieurs utilités :

- Visualiser la "mécanique" pouvant amener à la défaillance
- Evaluation la robustesse de la conception par ce qu'on appelle le niveau des coupes.
- Réaliser l'allocation fiabilité par une approche Top - Down de l'arbre.
- Evaluer la fiabilité de l'événement redouté par une approche Bottom-Up

Cependant, même si cet outil n'est pas forcément simple à réaliser, il ne pose généralement pas de gros problèmes en termes méthodologiques aussi nous n'avons pas eu d'améliorations notables à proposer au niveau de cet outil.

A la lecture de ce premier chapitre, le lecteur n'a pu s'empêcher de percevoir que, bien que la pertinence de ces outils ne soit plus à prouver, le temps nécessaire à leur mise en œuvre devient de plus en plus lourd au fur et à mesure de la complexification des systèmes étudiés. C'est dans un but d'optimisation de l'efficacité de ces outils que nous proposons, dans le chapitre 3, toute une série d'améliorations quant à leur opportunité, leur mode de mise en œuvre et leurs données de sortie.

LA MAITRISE DE RISQUE EN **FABRICATION**

« Savoir que l'on sait ce que l'on sait,
et savoir que l'on ne sait pas ce que
l'on ne sait pas :
voilà la véritable intelligence."»

Confucius
551 av J.C. – 479 av J.C.

La maîtrise de risque en fabrication

1. Introduction

Le plan défini, reste à concevoir un processus capable de réaliser les pièces. Ce processus devra être à même de fabriquer des pièces le plus possible semblables entre elles (notion de dispersion) et le plus possible semblables au plan, le tout à une cadence compatible avec les volumes demandés par le client et à un coût raisonnable pour celui-ci.

Pour produire une pièce conforme au plan, il est nécessaire de réaliser correctement l'ensemble des opérations nécessaires à sa réalisation. Aussi, l'approche de maîtrise de risques classiquement déroulée commence par une cartographie du processus permettant de décrire chacune des opérations du flux notamment en termes de données de sortie attendues. S'en suit une analyse de type AMDEC Processus sur chacune des opérations répertoriées permettant de regarder opération par opération quelles seraient les anomalies qui pourraient être générées.

L'objet de ce chapitre est de décrire pas à pas la méthodologie de maîtrise des risques classiquement mise en œuvre par l'industrialisateur pour s'assurer que le processus qu'il a conçu est apte à réaliser des pièces conformes. Ce descriptif détaillé a pour but de permettre au lecteur de bien comprendre les enchaînements entre les outils utilisés (diagramme de flux et AMDEC Processus) ainsi que les modes de réalisation de chacun d'entre eux par une série de « trucs et astuces » fruits d'une vingtaine d'années de pratique, afin qu'il puisse, s'il le désire, mettre en œuvre cette méthodologie, en autonomie, sur les processus de son entreprise.

2. Cartographie du processus

L'analyse d'un processus de production commence toujours par une cartographie du processus. Le principe est d'illustrer les flux physiques (et/ou les flux d'information) depuis l'approvisionnement en matière première, jusqu'à la livraison client par une représentation visuelle des différentes opérations nécessaire à la réalisation du produit.

2.1. Descriptif du diagramme de flux

De nombreuses représentations ont été proposées pour cartographier un processus, nous pouvons citer par exemple le SIPOC pour « Supplier, Input, Process, Output, Customer » issus notamment des littératures « six sigma » [Harry, 1988], ou le VSM pour « Value Stream Mapping » utilisé par les auteurs relatifs au lean manufacturing [Womack, 1996]. Cependant, dans ce chapitre, nous nous limiterons au « diagramme de flux », classiquement utilisé dans le monde de l'automobile et plus particulièrement chez PSA [PSA, 1999], qui nous semble être la représentation la plus simple à utiliser comme donnée d'entrée aux analyses de risque de type AMDEC Processus.

DIAGRAMME FLUX PROCESSUS : GRILLE D'ANALYSE										
Processus :		Produit :			Pilote :		Animateur :		Page :	
Référence :		Référence :			Date :		Indice :			
OPERATIONS				FLUX					CARACTERISTIQUES PRODUIT	PARAMETRES PROCESSUS
N°	Type	Désignation	Moyens	"O"	"□"	"⇄"	"▽"	"D"		
← Détail de l'opération →				← Schéma du flux →					← Résultats à obtenir →	← Paramètres Influençants sur la caractéristique →

Tableau 2.1 : Formulaire de diagramme de flux

Dans la partie gauche du formulaire sont listées l'ensemble des opérations nécessaires à la réalisation du produit. Pour ce faire, on s'imagine être une petite particule de matière première et on note tout ce qui nous arrive. Attention, par opération, on entend non seulement les opérations à valeur ajoutée symbolisées par le rond, mais également les opérations à « dépenses ajoutées » comme les contrôles symbolisés par le carré, les opérations de transfert symbolisées par la flèche, les stockages symbolisés par le triangle ou les attentes symbolisées par une sorte de D (on entend par attentes les petits stocks intermédiaires qui ne font classiquement pas l'objet d'un inventaire permanent et ne sont donc pas pris en compte comme stock dans les progiciels de gestion intégrée ERP).

Pour une analyse complète, le diagramme de flux devrait avoir pour première opération le déchargement du camion de matière première, et pour dernière le chargement dans le camion de produits finis. Cependant, pour certains processus complexes, une telle analyse serait beaucoup trop longue aussi, la première chose que doit faire le groupe de travail est de délimiter son champ.

Deux approches concurrentes existent pour délimiter le champ de l'étude :

- On se focalise sur le cœur du processus (les opérations de fabrication par exemple) car ce sont les opérations qui génèrent a priori le plus de défauts. Les autres opérations (approvisionnements, mises en stock, transport) ne seront analysées que plus tard, si on a le temps
- On délimite le flux pour rester dans la zone de compétence du groupe de travail. Par exemple, en fabrication automobile, les emboutisseurs analysent les opérations de l'atelier emboutissage, les soudeurs analysent les opérations de l'atelier ferrage, les monteurs celles de l'atelier montage, etc. Ainsi, l'ensemble du flux de l'usine est analysé. Dans une telle approche, il est important qu'une autorité (le responsable qualité du site par exemple), définisse où se termine le flux du groupe n°1 et à quelle opération commence le flux analysé par le groupe n°2 afin qu'aucune opération ne passe entre les mailles de filet et ne soit pas analysée.

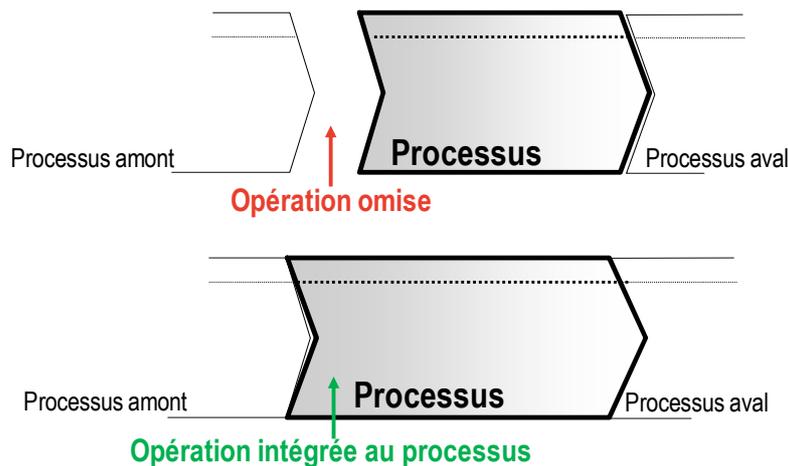


Figure 2.1 : mode de détermination des limites du processus à analyser

Une des principales difficultés rencontrée dans la réalisation du diagramme de flux est le choix du niveau de détail de l'analyse. Doit-on en effet considérer par exemple la sortie du stock de matière première, le transfert vers la zone de fabrication, l'attente devant la machine et le chargement de la machine comme quatre opérations distinctes, ou comme une opération de transfert globale que l'on pourrait appeler « alimentation machine » ?

Il n'y a pas de réponse triviale à cette question. En effet, plus on découpe finement le processus, plus l'analyse est fine et précise, mais plus elle nécessite de temps et risque de devenir inutilisable car « trop fouillée » (« Ce qui est simple est toujours faux, ce qui ne l'est pas est inutilisable » disait Paul Valery [Valery, 1942]). A l'inverse, une analyse trop grossière serait certes rapide mais ne décrirait que des évidences et n'apporterait donc pas grand-chose. Pour éviter ces deux écueils, il ne faut pas hésiter à représenter le processus sous deux niveaux de grossissement : un premier niveau très macroscopique permettant d'avoir une vue d'ensemble ; un second niveau où chaque étape de la macro-représentation précédente est plus détaillée afin de permettre une analyse de risque plus pertinente. Dans tous les cas, il revient à l'animateur du groupe d'analyse en accord avec celui-ci, de définir le meilleur niveau de détail en fonction de la complexité du processus à analyser et du temps disponible.

Attention à bien suivre le flux produit et à ne pas entrer dans les flux parallèles ou perpendiculaires. Par exemple, on pourrait imaginer qu'avant de s'installer à leur poste de travail, les opérateurs mettent des gants pour ne pas salir le produit. Même si cette opération est effectuée systématiquement par les opérateurs, le produit ne la « subit » pas : Ce n'est donc pas une opération du flux. Par contre, le fait que les opérateurs aient des gants pourrait être mentionné dans la colonne « paramètre » en relation avec la caractéristique « propreté du produit » (voir le descriptif des colonnes « caractéristiques » et « paramètre » plus loin dans ce paragraphe).

Pour appréhender le problème des « flux parallèles », reprenons l'exemple du montage d'une automobile. Ce processus contient nombre d'opérations dont une est le montage des pneumatiques. A cette opération, chaque pneumatique doit être considéré comme un composant ; par contre, le processus de fabrication du pneumatique ne doit pas être pris en compte dans le flux de fabrication de la voiture. C'est un flux parallèle qui doit être considéré comme un processus indépendant, faisant l'objet d'une analyse particulière.

Il en va de même pour les « flux perpendiculaires » que sont les opérations de préparation des machines. Par exemple dans un processus de traitement de surface par bains. Le passage du produit de bain en bains est le flux principal ; par contre, la maîtrise de la concentration en produits actifs dans chacun des bains ne doit pas intervenir dans ce flux, une petite particule de produit passant de bains en bains ne subissant pas ces opérations de préparation des bains. Le flux de préparation des bains ne doit donc pas être pris en compte dans le flux principal.

Pour être rigoureux, chaque flux parallèle et perpendiculaire devrait faire l'objet de cartographie puis d'une analyse de risque type AMDEC Processus. Cependant, vu l'énergie que nécessite l'analyse d'un flux, il est rare (voire trop rare) que ces flux soient analysés.

De même, pour une analyse complète, les flux dégradés (montage de systèmes à la main plutôt que par robot quand ceux-ci sont en panne pas exemple) ou déviés (flux de réparation des pièces) devraient également faire l'objet d'un diagramme de flux et d'une analyse de type AMDEC. Pour la même raison que précédemment, ces flux sont trop peu analysés.

En termes de numérotation des opérations, il est classique de numéroter les opérations à valeurs ajoutées en nombre entier de dizaine pour plus facilement les repérer dans la gamme, les autres opérations prenant les valeurs intermédiaires. Cette façon de numéroter est classique mais ne requiert aucun caractère obligatoire car n'impactant en rien la suite de l'analyse. Aussi, à chaque entreprise de numéroter ses opérations de la manière la plus simple pour son système de gestion de production.

Les 5 colonnes centrales permettent d'analyser le flux en termes de performance. En effet, seules les opérations de fabrication sont des opérations à valeurs ajoutées, les autres étant des opérations que l'on pourrait qualifier « d'opérations à dépenses ajoutées ». Ainsi, le meilleur des flux n'aurait que des opérations dans la première colonne et aucune dans les autres. Une des premières actions du Lean Manufacturing [Womack, 1996] consiste donc à tirer le flux, c'est-à-dire à chercher à éliminer le plus possible ces opérations à dépenses ajoutées, notamment les transferts et attentes parasites.

On peut imaginer comme indicateur d'efficacité le rapport entre les opérations à valeurs ajoutées et la somme totale des opérations. Ce rapport peut se faire en nombre ou en temps. Dans le cas d'une analyse en temps, le temps passé pour chaque opération est noté dans la colonne de la catégorie correspondante (prendre la moyenne de la mesure de temps d'un minimum de 10 cycles afin d'avoir un niveau de confiance satisfaisant dans le résultat). L'indicateur de fluidité est alors calculé par le rapport :

$$F\% = \frac{\sum \text{temps_opérations_valeur_ajoutée}}{\sum \text{temps_total_du_flux}}$$

La gestion de cet indicateur est analysée dans le cadre du lean manufacturing et sort donc du cadre de nos travaux (voir introduction du présent chapitre). On peut simplement ajouter qu'une valeur de 30% est classiquement admise comme étant un minimum pour les processus industriels.

A droite de notre formulaire se trouvent les colonnes « Caractéristiques produit » et « Paramètre processus ».

Dans la colonne « caractéristique produit », l'industrialisateur notera la donnée de sortie attendue de l'opération considérée au niveau du produit en ce posant la question : « Qu'est-ce que j'attends en donnée de sortie de l'opération X). Cette colonne correspond donc à la valeur ajoutée de l'opération considérée sur le produit. Par exemple, pour un perçage, la caractéristique attendue au niveau du produit pourrait être un trou de diamètre $\phi = 10 \pm 0,2$ mm, la localisation du trou, un état de surface, etc...

Dans la colonne « paramètre processus », sera renseigné le ou les paramètres processus permettant d'obtenir la caractéristique précédemment notée. Par paramètre processus, on entend les facteurs classiquement classés selon les 5M :

- Matière : Les matières premières, et plus généralement les inputs du processus.
- Moyen : Concerne les équipements (machines, outillages, etc.)
- Méthodes : est relatif aux façons de faire décrit dans des procédures, modes opératoires, etc.
- Main-d'œuvre : tout ce qui concerne les ressources humaines
- Milieu : correspond à l'environnement (température, humidité, propreté, etc.)

Ainsi, par exemple, en face de la caractéristique diamètre $\phi = 10 \pm 0,2$ mm, sera mentionné le diamètre du foret ; pour la caractéristique état de surface, on trouvera la vitesse de coupe et la vitesse d'avance.

Lorsqu'il n'est pas évident de déterminer les paramètres associés à une caractéristique donnée, le groupe de travail peut décider de mener un plan d'expériences.

2.2. Recherche des paramètres par un plan d'expériences

Un plan d'expériences est une technique statistique qui permet de déterminer et de classer de façon sûre les paramètres les plus influents sur une ou plusieurs caractéristiques données. L'objet de ce paragraphe n'est pas de décrire la technique des plans d'expériences de façon précise mais de présenter cet outil afin que le lecteur puisse en percevoir l'intérêt dans le cadre de la maîtrise des processus de fabrication. Aussi, nous nous limiterons ici à une description succincte et proposons au lecteur de se retourner vers des ouvrages dédiés pour une présentation plus complète [Pillet, 1997][Goupy, 2009].

Imaginons que l'on cherche à définir les paramètres les plus influents du procédé de soudage par ultra-sons avec lequel l'industrialisateur a décidé de souder la tête du rasoir sur son manche.

La première étape de la mise en œuvre du plan d'expériences consiste à mener un brainstorming pour définir l'ensemble des paramètres potentiellement influents sur la caractéristique « tenue de la tête ». Ainsi le groupe a noté l'ensemble des possibilités de réglage de la soudeuse US soit :

- * Fréquence sonotrode
- * Amplitude sonotrode
- * Pression de soudage
- * Durée de soudage
- * Temps de maintien après soudage
- * Température des matrices

* Vitesse descente de la sonotrode

Pour connaître l'influence relative de ces 7 paramètres sur la caractéristique recherchée, l'expérimentateur a décidé de mener un plan d'expérience selon la technique de TAGUCHI où chacun des ces paramètres se verra affecté 2 niveaux de réglages. Un paramètre sera défini d'autant plus influent que la réponse variera plus fortement lorsque son réglage passe du niveau bas (niveau 1) au niveau haut (niveau 2).

Le choix des niveaux à tester pour chacun des paramètres a été défini par le groupe de travail de telle sorte qu'il y ait le plus d'écart-possible entre chaque niveau tout en restant dans la zone de fonctionnement de la machine :

Code	facteur	Niveau 1	Niveau 2
A	Fréquence sonotrode	20 khz	45 khz
B	Amplitude sonotrode	0,2 mm	0,3 mm
C	Pression de soudage	2 bar	3 bars
D	Durée de soudage	1 s	3 s
E	Temps de maintien après soudage	1 s	3 s
F	Température des matrices	80°C	100°C
G	Vitesse de descente de la sonotrode	1 mm/s	2 mm/s

En imaginant qu'il n'existe pas d'interactions entre les paramètres, l'expérimentateur a monté le plan ci-après basé sur la table L8 de TAGUCHI, la réponse étant la force d'arrachement de la tête en daN :

Facteur N° Essai	A: Fréquence	B: Amplitude	C: Pression	D: Durée	E: Maintien	F: Temp.	G: Descente	Réponse
	1	2	3	4	5	6	7	
1	20 khz	0,2 mm	2 bars	1 s	1 s	80°C	1mm/s	4
2	20 khz	0,2 mm	2 bars	3 s	3 s	100°C	2mm/s	5
3	20 khz	0,3 mm	3 bars	1 s	1 s	100°C	2mm/s	2
4	20 khz	0,3 mm	3 bars	3 s	3 s	80°C	1mm/s	1
5	45 khz	0,2 mm	3 bars	1 s	3 s	80°C	2mm/s	8
6	45 khz	0,2 mm	3 bars	3 s	1 s	100°C	1mm/s	7
7	45 khz	0,3 mm	2 bars	1 s	3 s	100°C	1mm/s	10
8	45 khz	0,3 mm	2 bars	3 s	1 s	80°C	2mm/s	13
Effet	3,250	0,250	-1,750	0,250	0,000	0,000	0,000	

Tableau 2.2 : Plan d'expériences sur le procédé de soudage US de la tête du rasoir

Pour évaluer l'influence du paramètre lorsqu'on passe son réglage du niveau 1 au niveau 2, on en calcule son effet par la formule :

$$\text{Effet} = \frac{\overline{\text{Réponses}_{\text{niveau2}}} - \overline{\text{Réponses}_{\text{niveau1}}}}{2}$$

Le Pareto de ces effets en valeur absolue donne le graphe suivant :

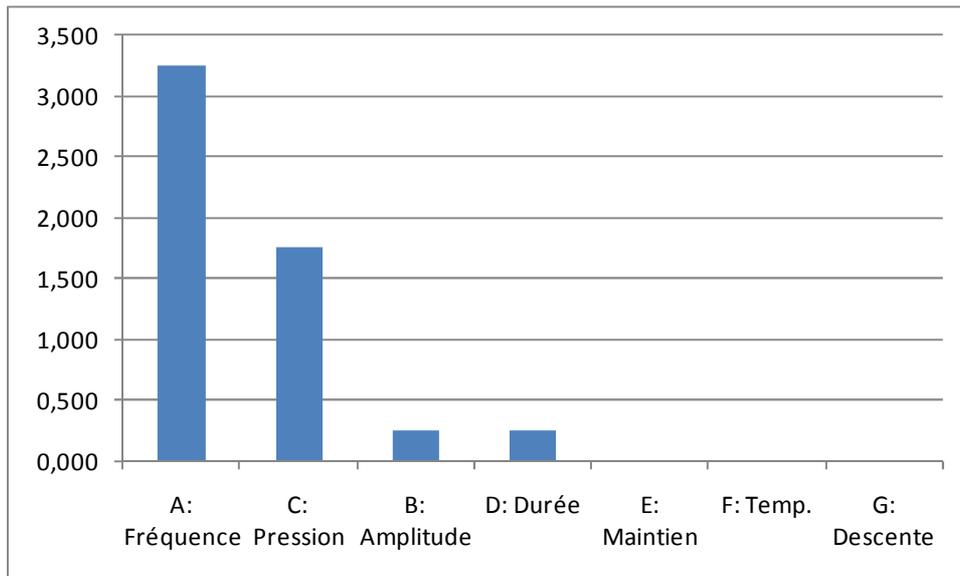


Tableau 2.3 : Pareto des effets du plan d'expérience mené sur le processus de soudage US de notre rasoir

On voit ainsi que la fréquence de la sonotrode et la pression appliquée sont les deux paramètres les plus influents de l'opération de soudage sur la caractéristique « tenue de la soudure » ; ce sera donc ces paramètres qui devront être maîtrisés en priorité à cette opération et donc notés dans la colonne « paramètres » de notre diagramme de flux.

Le diagramme de flux réalisé pour représenter le processus de montage de notre rasoir pourrait ainsi être le suivant :

DIAGRAMME FLUX PROCESSUS : GRILLE D'ANALYSE											
Processus : fabrication			Produit : Rasoir			Pilote : Nicolas S.			Animateur : François F.		
Référence : Ligne 1			Référence : BIC JET			Date : 1/05/09			Indice : A		
OPERATIONS				FLUX					CARACTERISTIQUES PRODUIT		PARAMETRES PROCESSUS
N°	Type	Désignation	Moyens	"O"	"□"	"⇨"	"∇"	"D"			
1	⇨	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Cariste			5 min			- Bonne référence lames - Pas de dégradation des lames	- Attention du cariste	
2	D	Attente production	Zone attente					2h	- Pas d'oxydation des lames	- Durée d'attente : 12h maxi - Conditions environnement : sec	
10	O	Montages lames sur tête	Manuel	10 s					- 3 lames - Bon positionnement	- Réglage gabarit pose - Dextérité opérateur	
20	O	Boutroillage contre-lame	Robot	3 s					- Bonne tenue des lames - Bon positionnement de la contre-lame	- Profondeur boutroillage = 2 mm - Bon réglage robot	
30	O	Collage lubrifiant	Manuel	3 s					- Bon positionnement	- Dextérité opérateur	
40	O	Soudage tête sur manche	Soudeuse US	7 s					- Bon positionnement tête / manche - Pas de dégradation aspect	- Pression de soudure = 2b - Fréquence US = 45 kHz	
41	□	Contrôle taux de sortie lames	Gabarit		10 s				Ecarter les rasoirs aux lames trop sortie	- Réglage du gabarit - 5 pièces / heure	
42	□	Contrôle aspect	Visuel		30 s				Ecarter les rasoirs contenant des défauts d'aspect	- Formation contrôleur - 5 pièces / heure	
43	⇨	Mise en carton	Robot			2 min			- 50 Rasoirs / cartons - Bon rangement	- Définition compteur rasoir - Calage robot	
44	⇨	Mise en stock des cartons	Cariste			5 min			Bon endroit	- Feuille de stock	
45	∇	Stockage cartons produit finis	Stockeurs dynamiques					25 jours	- Pas de dégradation des cartons	- Durée de stockage : 1 an maxi - Conditions environnementale : sec - Gerbage : 5 cartons maxi	

Tableau 2.4 : Diagramme de flux de la fabrication du rasoir

Pour les opérations de contrôle (dont la recherche des caractéristiques et paramètres pose souvent des difficultés à bien des groupes de travail), on voit dans le digramme de flux ci-dessus que le groupe a noté « écarter les rasoirs non conformes » dans la colonne caractéristique produit. Même si ce libellé ne correspond pas directement à une caractéristique générée au niveau du produit par l'opération, on est bien ici en face d'un libellé correspondant à la donnée de sortie attendue de l'opération. Pour ce type d'opérations, les paramètres processus seront globalement toujours les mêmes avec :

- * L'étalonnage du processus de mesure
- * L'échantillonnage en termes de fréquence et de quantité prélevée.

De même au niveau des opérations de stockage ou d'attente, la caractéristique produit (ce qu'on attend de l'opération) est classiquement « pas de dégradation du produit » (on veut que le produit ne change pas d'état entre le début et la fin de l'opération). Les paramètres correspondant en sont généralement :

- * La durée de stockage.
- * Les conditions (environnementales) de stockage.
- * Le mode de gerbage.

Ainsi, chaque processus étant découpé en opérations élémentaires pour lesquelles caractéristiques produit et paramètres processus ont été renseignés, il ne reste plus qu'à rechercher quels seraient les défauts qui y risquent d'arriver. Tel est l'objet de l'AMDEC Processus.

3. AMDEC Processus

Tout comme l'AMDEC Produit est un outil servant à analyser les défaillances dues à des erreurs de conception, l'AMDEC Processus (en anglais « Process FMEA ») sert à analyser les défaillances engendrées par le processus de fabrication.

En AMDEC Produit, les défaillances correspondaient à la non réalisation des critères de performances associés aux fonctions demandées par le client dans son cahier des charges fonctionnel. Ici, en AMDEC Processus, les défaillances correspondront à la non réalisation de la donnée de sortie attendue de l'opération considérée. Aussi, plutôt que défaillance, on emploie classiquement le terme de défaut ou d'anomalie générée.

Pour rester cohérent avec la façon de mener une AMDEC Produit décrite au chapitre précédent, nous décrirons l'AMDEC Processus en deux phases :

- Une analyse qualitative permettant de décrire les anomalies potentiellement générées, en termes de causes, d'effet sur le client et mode de détection mis en œuvre pour en empêcher leur propagation.
- Une analyse quantitative où les anomalies sont évaluées en termes d'occurrence (probabilité d'apparition), de gravité (impact de l'anomalie sur le client), et de détection (capacité à être détectée avant livraison client) afin de mettre en lumière les anomalies les plus « gênantes » sur lesquelles il convient de mener une action corrective.

Ainsi, pour la description de la méthodologie, nous utiliserons le formulaire suivant, largement inspiré du formulaire PSA [PSA, 1999] :

AMDEC Processus : GRILLE D'ANALYSE																											
Processus : Référence :					Produit : Référence :					Pilote : Date :					Animateur : Indice : Page :												
DIAGRAMME FLUX :								SEUIL DE CRITICITE :																			
PROCESSUS		PRODUIT		CLIENT		PROCESSUS				NOTES				ACTIONS PREVENTIVES / CORRECTIVES				RESULTATS									
Opérations (N°)		Anomalie (libellé)		Effets de l'anomalie		CS		Causes de l'anomalie		Actions de maîtrise mises en		Plan de surveillance		prévu / existant		N°		Responsable		Mesure envisagée		Délai		espérés			
1	2	3	4	5	6	7	8	O	G	D	C	action	Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	16	O'	G'	D'	C'							
ANALYSE QUALITATIVE								ANALYSE QUANTITATIVE				SOLUTIONS PROPOSEES				EFFICACITE ATTENDUE											

Tableau 2.5 : Tableau d'analyse AMDEC Processus inspiré du formalisme PSA

Parmi les nombreux formalismes proposés dans la littérature, nous préconisons d'utiliser des grilles, à l'image de celle proposée ci-dessus, qui séparent clairement l'analyse qualitative (description des anomalies potentielles), l'analyse quantitative (hiérarchisation de ces anomalies en termes de risques) et les actions correctives (actions mises en œuvre pour réduire les niveaux de risque les plus élevés). Eviter tant que faire ce peu, d'utiliser des grilles qui mixent l'analyse qualitative et l'analyse quantitative (où la note d'occurrence O est classiquement positionnée juste après la cause, la note de gravité G juste après l'effet et la note de détection D juste après la colonne plan de surveillance). Ce type de grille, à l'instar des grilles proposées par Renault SA [Renault, 2000], par le recueil FMEA du QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] ou par le VDA [VDA, 1996], pousse le groupe à réaliser l'analyse ligne complète par ligne complète au détriment de l'homogénéité interlignes, notamment au niveau de la cotation.

3.1. Constitution du groupe de travail

Comme pour l'AMDEC Produit, une AMDEC Processus réalisée seul manquera de pertinence en termes d'exhaustivité dans la recherche des anomalies potentielles pour la partie qualitative, et de précision dans la cotation pour la partie quantitative. Comme le dit Jean FAUCHER dans son livre « pratique de l'AMDEC » [Faucher, 2009] : "Constituer un groupe de travail multidisciplinaire est un moyen de réunir les connaissances et les compétences nécessaires pour réaliser convenablement l'AMDEC".

Pour l'AMDEC Processus, le groupe doit donc être multidisciplinaire ; c'est à dire constitué au moins d'un représentant des services :

- * Industrialisation (ou méthodes).
- * Qualité
- * Production
- * Maintenance

Voire :

- * Conception
- * achats

Comme dans tout groupe de travail, il convient de distribuer les casquettes de pilote, d'animateur et de secrétaire.

Le pilote est le demandeur de l'AMDEC, c'est lui qui récupérera le document à la fin, gèrera les actions correctives définies si il y en a, etc. Aussi, le pilote est souvent le représentant du service industrialisation.

L'animateur est celui qui anime les débats, reformule, fait participer tout le monde, etc. Pour l'AMDEC, c'est le garant méthodologique. Il a pour rôle dans la partie analyse qualitative de s'assurer qu'il n'y a pas de confusion entre anomalie, cause et effet. Pour la cotation, il s'assurera que le groupe ne confonde pas les notions d'occurrence, de gravité ou de détection. Pour cela, il n'est pas nécessaire que l'animateur soit compétant dans la technique mise en œuvre pour fabriquer le produit ; par contre, sa compétence doit être la plus fine possible en termes d'animation de groupe. Souvent, c'est au représentant du service qualité que revient cette charge.

Quant à la fonction de secrétaire, elle n'est plus aussi prenante qu'avant l'apparition des vidéoprojecteurs. Avec ces machines, l'animateur peut maintenant aisément assumer également la fonction de secrétaire. Cependant, si un des membres du groupe se porte volontaire...

3.2. AMDEC Processus : Partie analyse qualitative

L'objet de l'AMDEC processus est de rechercher puis de hiérarchiser les anomalies potentiellement créées par le processus de fabrication du produit. Pour aider le groupe de travail à se rapprocher de l'exhaustivité dans sa recherche, il est plus aisé de structurer son analyse en suivant les opérations du processus décrit dans le diagramme de flux plutôt que de partir du plan. Aussi, dans notre formulaire, le groupe de travail rappellera la numérotation et le libellé de l'opération analysée dans les colonnes (1) et (2).

Dans la colonne (3) sont consignées les anomalies potentiellement générées à l'opération. En AMDEC Processus, les anomalies correspondent à la non réalisation correcte de la donnée de sortie attendue de l'opération. Cette donnée de sortie, généralement une caractéristique du produit notée au plan, étant notifiée dans la colonne « caractéristique produit » du diagramme de flux, l'approche est de partir du diagramme de flux et de « raisonner négatif » pour chacune des caractéristiques produit comme le montre le schéma ci-après. Ainsi, à une opération de perçage, là où le diagramme flux mentionnait la caractéristique produit « $\phi = 10 \pm 0,2 \text{ mm}$ », les anomalies potentielles seront « perçage trop petit » ou « perçage trop grand », voire « pas de perçage » du tout.

Le schéma ci-dessous montre ainsi le lien existant entre la colonne « caractéristique produit » du diagramme de flux et les anomalies potentiellement générées à l’opération :

OPERATIONS				FLUX				CARACTERISTIQUES PRODUIT	PARAMETRES PROCESSUS
N°	Type	Désignation	Moyens	"O"	"□"	"⇨"	"▽"		
1	⇨	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Cariste			5 min		- Bonne référence lames - Pas de dégradation des lames	- Attention du cariste

PROCESSUS		PRODUIT	CLIENT		PROCESSUS		
(N°)	Opérations (libellé)	Anomalie (libellé)	Effets de l'anomalie	CS CC	Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames Transfert mauvaise référence lames					

Figure 2.2 : Recherche des anomalies à partir du diagramme flux

Pour être exhaustif, l’animateur poussera le groupe à imaginer les anomalies potentiellement générées par chacun des quatre modes de défaillance du processus que sont :

- La non réalisation de la caractéristique (absence de réalisation) : trou non percé.
- La mauvaise réalisation de la caractéristique (réalisation dégradée) : trou percé trop gros ou trop petit.
- L’arrêt dans la réalisation de la caractéristique (arrêt de la réalisation avant la fin de l’opération) : trou percé non débouchant
- La réalisation d’une caractéristique qui n’avait pas lieu d’être (réalisation intempestive) : perçage d’un trou absent au plan.

Parfois, un de ces modes de défaillance ne veut rien dire, il ne sera donc pas noté dans l’AMDEC. Cependant, il est utile que l’animateur garde ces quatre questions en tête lors de son animation de groupe.

L’effet de l’anomalie potentiel est noté dans la colonne (4) de notre formulaire. L’effet correspond à l’impact de l’anomalie sur le client. Ce client doit être vu à quatre niveaux :

- Le client aval interne : c'est-à-dire les opérations un peu plus loin dans le flux. Par exemple, pour l’anomalie « trou trop petit », le client aval interne impacté serait l’opération de montage de la vis.
- Le client aval externe : c’est le client direct, celui qui paye. Dans l’industrie automobile, le client aval externe d’un équipementier est le constructeur.
- Le client final ou utilisateur : c’est le client pour lequel existe le produit. Pour l’industrie automobile, c’est l’automobiliste.
- Le client étatique : ce client est souvent potentiellement touché, mais de façon indirecte. Les effets sur ce type de client pourraient être un non respect de la réglementation, une pollution environnementale, un accident industriel majeur type AZF, etc...

Pour être pertinent dans son analyse, le groupe de travail doit envisager des impacts sur chacun de ces clients. Cependant, pour ne pas surcharger l’analyse, il ne mentionnera dans l’AMDEC que le ou les effets sur le client a priori le plus impacté.

Comme en AMDEC Produit, le groupe doit éviter de tomber dans le piège de « l'effet papillon » en notant une cascade d'effets dont les liaisons ont une probabilité très faible. Prenons l'exemple de l'accident du train ICE survenu le 3 juin 1998 à Eschede, vraisemblablement à cause d'un bandage de roue mal remonté lors d'une opération de maintenance. Dans l'analyse AMDEC du processus de maintenance, l'anomalie aurait été « bandage de roue mal remonté ». L'effet de niveau 1 a été la casse de ce bandage. L'effet de niveau 2 a été le déraillement du train. En déraillant, le train s'est retrouvé à rouler de façon décalée par rapport aux voies et s'est encastré dans une pile de pont. L'effet de niveau 3 a été la rupture du pont.

Chaque erreur de maintenance d'un bandage de roue ferroviaire entraîne-t-elle la rupture d'un pont ? Certes non. Aussi la règle doit être la suivante : **l'effet noté dans l'AMDEC doit se limiter à l'effet de niveau 1. On ira noter l'effet de niveau 2 si la liaison effet de niveau 1 / effet de niveau 2 est sûre ou quasi sûre.**

Ainsi, dans le cas de notre train, on peut imaginer que toute rupture du bandage de roue entraîne un déraillement de train. Aussi, à l'anomalie « bandage de roue mal remonté », on associera l'effet de niveau 1 « rupture du bandage en utilisation » puis l'effet de niveau 2 « déraillement du train » mais on s'arrêtera là.

Parfois, il est difficile pour le groupe de travail d'envisager un effet sur le client, notamment lors de l'analyse de la fabrication d'un composant très bas dans le découpage PBS ou dans le cas de la fabrication d'un composant catalogue multi-usages. Dans ces cas, la liaison fonctionnelle entre ledit composant et le macro-système dans lequel il va s'insérer n'est pas évidente. Ici, le groupe notera en guise d'effet l'impact de l'anomalie sur la fonction attendue du composant avec les cinq modes de défaillance classiques des fonctions :

- * L'absence de fonction : le produit ne marchera pas.
- * L'arrêt de fonction : le système ne marchera plus au bout d'un moment.
- * La fonction dégradée : le système fonctionnera mal.
- * La fonction intempestive : le système se mettra à marcher tout seul.
- * La fonction intermittente : le système s'arrêtera de temps en temps.

La colonne (5) est une colonne spécifique aux industries du transport et plus particulièrement à l'industrie automobile qui, dans le cadre de la norme ISO TS 16949 [ISO, 2002] précise que « L'organisme doit identifier les caractéristiques spéciales », une caractéristique spéciale étant une « caractéristique d'un produit ou paramètre d'un processus de fabrication qui peuvent affecter la sécurité, la conformité aux réglementations, l'aptitude à l'emploi, la fonction, les performances du produit ou les opérations de finition ultérieures sur ce produit ». En clair, il est demandé de mettre en lumière, dans l'ensemble des documents liés à l'élaboration du produit et donc dans les AMDEC Processus, les caractéristiques du produit qui ont un fort impact sur le client. Ainsi, une caractéristique est jugée spéciale et notée « CS » si son anomalie impacte fortement le client. En cas de problème lié à la sécurité, on pourra le signaler par la mention « Caractéristique Critique » (CC).

La note de gravité (voir paragraphe suivant sur l'analyse quantitative de l'AMDEC) caractérisant la puissance de l'impact de l'anomalie sur le client, c'est en fonction de cette note que sera attribué le caractère spécial ou non de la caractéristique. Aussi, ce point sera abordé dans le paragraphe relatif à la cotation.

L'étape suivante consiste à rechercher les causes des anomalies et de les renseigner dans la 6^{ème} colonne de notre formalisme. En AMDEC Processus, les causes se situent au niveau des « 5 M » caractérisant le processus. Ainsi, pour une anomalie « diamètre de perçage trop faible », la cause pourrait être « Erreur de foret de la part de l'opérateur (M : Main d'œuvre), « mauvaise définition du foret par l'industrialisateur » (M : Méthode), « foret usé » (M : Machine), Perçage dans un matériau si fluide qu'il se rebouche tel du camembert (M : Matière), Perçage avec un foret venant d'un bain cryogénique (M : Milieu). Plusieurs causes peuvent donc être associées à chacune des anomalies, cependant, pour ne pas surcharger l'analyse, le groupe de travail se limitera à la recherche de la ou des causes les plus probables.

Les paramètres associés aux caractéristiques attendues de l'opération ayant déjà été décrits dans le diagramme de flux, les causes des anomalies correspondent donc à la non maîtrise de ces paramètres. On retrouve donc le lien suivant entre le diagramme de flux et l'AMDEC Processus :

OPERATIONS				FLUX				CARACTERISTIQUES PRODUIT	PARAMETRES PROCESSUS
N°	Type	Désignation	Moyens	"O"	"□"	"⇔"	"▽"		
1	⇔	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Cariste			5 min		- Bonne référence lames - Pas de dégradation des lames	- Attention du cariste

PROCESSUS		PRODUIT	CLIENT		PROCESSUS		
(N°)	Opérations (libellé)	Anomalie (libellé)	Effets de l'anomalie	CS	Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance
				CC			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames Transfert mauvaise référence lames	Montage impossible en OP 10 Montage impossible en OP 10		Choc avec transpalette Erreur cariste		

Figure 2.3 : Recherche des causes à partir du diagramme flux

La 7^{ème} colonne de notre formalisme sert à mentionner les actions de maîtrise volontairement mises en œuvre de façon préalable par l'industrialisateur pour éviter (ou réduire) la probabilité d'apparition de l'anomalie. Ainsi, pourra par exemple être noté dans cette colonne :

- Le fait d'avoir choisi des opérateurs qualifiés, de les avoir préalablement formés à l'opération considérée (impact sur le M : Main d'œuvre).
- Le fait d'avoir écrit un mode opératoire précisant le fonctionnement de l'opération, d'avoir mené un plan d'expériences pour bien comprendre le fonctionnement du processus (impact sur le M : Méthode).
- Le fait d'avoir prévu une maintenance préventive, un changement d'outil systématique (impact sur le M : Machine).
- Le fait d'avoir installé une climatisation dans l'atelier, d'avoir prévu un système d'aspiration des poussières (impact sur le M : Milieu).
- Le fait d'avoir choisi des fournisseurs de composants ayant pignon sur rue (impact sur le M : Matière).
- ...

Cette colonne n'est pas classique dans les formalismes d'analyse AMDEC. Elle n'est par exemple apparue qu'en 2001 dans la 3^{ème} édition du recueil FMEA [Chrysler, Ford, GM, 2008] associé au QS 9000. Mais cette colonne est très intéressante en termes de capitalisation car c'est dans celle-ci de devra regarder l'industrialisateur en cas de transfert ou de dédoublement de la ligne sur un autre site par exemple.

Dans la dernière colonne de la partie qualitative de l'analyse, le groupe listera les détections prévues au plan de surveillance pour détecter les anomalies (ou leur causes) avant que celles-ci ne quittent le processus étudié et atteignent le client.

Si la détection d'une anomalie potentiellement générée à une opération N est prévue de se faire plus loin dans le flux à une opération N+k (le contrôle final par exemple), il est judicieux de noter dans la colonne 8 « plan de surveillance » de l'opération génératrice de l'anomalie, à quelle opération cette détection aura lieu. Cette notification améliore la compréhension de l'analyse, lors d'une relecture par exemple.

Attention à ne noter dans cette colonne que les détections prévues (ou déjà mises en places) inscrites au plan de surveillance. Par détections prévues, on entend détections planifiées, qualifiées et budgétées, c'est-à-dire les détections qu'il y aura réellement lorsque le processus fonctionnera ; les détections possibles seront quant à elles, notées dans la colonne actions correctives si nécessaire.

Diverses techniques de détections peuvent être prévues pour détecter les anomalies et donc notées dans le plan de surveillance et dans la colonne correspondante de notre AMDEC. On peut ainsi noter des techniques comme :

- Le contrôle à 100 % par l'humain ou en automatique.
- Le contrôle libérateur par échantillonnage : on prélève régulièrement un échantillon de la production et on libère ce « micro-batch » si le prélèvement est conforme.
- Le contrôle statistique par des approches telles que le SPC [Pillet 2005] où on prélève régulièrement un petit échantillon de la production (4 à 5 pièces par exemple), on les mesure, on en calcule la moyenne et l'étendue et on considère que le processus n'a pas évolué et continue à produire des pièces conformes si la moyenne et l'étendue de l'échantillon restent compris à l'intérieur de limites appelées limites de contrôle. Cette technique est encore classiquement utilisée pour suivre le produit caractéristique par caractéristique mais de nouvelles approches de SPC multivariés [Tiplica, 2003] sont actuellement proposées pour suivre toutes les caractéristiques du produit en même temps. Ces techniques, tout en permettant un gain évident en termes de gestion documentaire, permettent d'améliorer la détectabilité globales des dérives du processus de fabrication.
- ...

Pour choisir la meilleure technique de détection en fonction des situations rencontrées, nous proposons dans le chapitre 4 de ce recueil, une méthodologie inédite permettant de construire un plan de surveillance le plus efficace possible à un coût de fonctionnement minimum.

L'ensemble des détections listées dans l'AMDEC doivent donc être en phase avec les informations contenues dans le plan de surveillance.

Le plan de surveillance est un document qui liste, en termes de QQQCP, l'ensemble des contrôles effectués sur le produit (ou sur les paramètres du processus) pour s'assurer que le produit fabriqué est conforme :

- Q : Quelle caractéristique produit ou paramètre process est contrôlé ?
- Q : Qui est responsable de ce contrôle ?
- O : Où est effectué le contrôle ?
- Q : Quand est fait le contrôle ? (à quelle fréquence ?)
- C : Comment est réalisé le contrôle ? (avec quel instrument de mesure ?)
- P : Seul le Pourquoi n'est pas renseigné car l'objet des contrôles est toujours de s'assurer que le produit est conforme.

Le plan de surveillance est généralement présenté sous forme de tableau, chaque question du QQQCP faisant l'objet d'une colonne. De nombreux formulaires de plan de surveillance sont proposés par la littérature. On peut notamment citer les formulaires proposés par le groupe PSA [PSA, 1998] ou l'APQP [Chrysler, Ford, General Motors, 1995] associé au QS 9000 qui sont les deux formulaires les plus utilisés dans l'industrie automobile ; le formulaire que nous proposons ci-dessous étant une synthèse de ces approches :

Europe Qualité Services		PLAN DE SURVEILLANCE												
		Produit : Référence :			Processus : Référence :			AMDEC : Date :			Responsable : Date : Indice : A			
N° Opération	Intitulé de l'opération	Caractéristique	Tolérance / limite	CS CC	Responsable du contrôle	Moyen de contrôle	Vérification moyen de contrôle	Opération où est fait le contrôle	Taille du prélèvement	Fréquence du contrôle	Mode opératoire	Mode d'enregistrement	Archivage de l'enregistrement	Action si contrôle non-conforme
N° de l'opération concernée	Intitulé de l'opération concernée Ex : Perçage	Quelle est la caractéristique générée à l'opération concernée Ex : Alésage M9	Quelle est la tolérance sur cette caractéristique Ex : 9±0,1 mm	Noter CC pour les caractéristiques critiques Noter CS pour les caractéristiques spéciales	Définir la fonction du responsable du contrôle Ex : Régleur	Définir le moyen de contrôle utilisé Ex : Pied à coulisse	Définir le mode de vérification du moyen de contrôle Ex : Vérification par pige étalon tous les matins	Définir l'opération du flux où est effectué le contrôle Ex : Sortie centre d'usinage	Définir le nombre de pièces prélevées à chaque prélèvement Ex : 5 pièces	Définir la fréquence de contrôle en temps ou en Nb de pièces Ex : 2 heures	Noter le N° du mode opératoire de contrôle si besoin Ex MO 002	Noter le N° du support d'enregistrement où reporter les résultats du contrôle Ex : Carte SPC N° 005	Noter la durée d'archivage de l'enregistrement si besoin Ex : 15 ans	Définir l'action de réaction immédiate en cas de contrôle non conforme Ex : Tri à 100% des pièces produites depuis dernier

Tableau 2.6 : Notre formulaire de plan de surveillance

Le plan de surveillance prévisionnel de la fabrication du rasoir, tel qu'il était prévu avant la réalisation de l'AMDEC et repris dans la colonne « plan de surveillance » de celle-ci était donc le suivant :

Europe Qualité Services		PLAN DE SURVEILLANCE												
		Produit : Rasoir			Processus : Fabrication			AMDEC : Processus fabrication			Responsable : Nicolas S.			
		Référence : BIC-JET			Référence : ligne 1			Date : 1/05/09			Indice : A			
N° Opération	Intitulé de l'opération	Caractéristique	Tolérance / limite	CS CC	Responsable du contrôle	Moyen de contrôle	Vérification moyen de contrôle	Opération où est fait le contrôle	Taille du prélèvement	Fréquence du contrôle	Mode opératoire	Mode d'enregistrement	Archivage de l'enregistrement	Action si contrôle non-conforme
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Référence lame	Selon bordereau planning		Cariste	Visuel	Néant	1 : Transfert	100%	100%	Néant	Néant	Néant	Rangement carton lames erroné
2	Attente production	Oxydation lames	Pas de traces visibles		Monteur lames	Visuel	Néant	10 : Montage lames	100%	100%	Néant	Défauts notés sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
10	Montage lames	Nombre de lames	3		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
		Position des lames	Selon plan	CC	Contrôleur aspect	Gabarit	Vérification dimensionnelle tous les mois	41 : Contrôle taux de sortie lames	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
20	Boutillage contre lame	Profondeur boutillage	Selon plan	CS	Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
		Position contre-lames	Selon plan	CC	Contrôleur aspect	Gabarit	Vérification dimensionnelle tous les mois	41 : Contrôle taux de sortie lames	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
30	Collage lubrifiant	Position lubrifiant	Selon plan		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
40	Soudage tête sur manche	Positionnement de la tête sur le manche	Selon plan		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
		Dégradations aspect tête	Pas de traces visibles		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivie du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
44	Mise en stock des cartons	Endroit de rangement	Selon fiche gestion des stocks		Equipe audit 5S	Visuel	Néant	Hors flux	100%	1 fois / trimestre	Questionnaire audit 5S	Sur fiche audit 5S	5 ans	Rangement atelier

Tableau 2.7 : Plan de surveillance prévisionnel de la fabrication du rasoir

L'analyse AMDEC, notamment par sa partie cotation permettra de valider l'ensemble de l'industrialisation du produit et notamment, de s'assurer que le plan de surveillance filtre suffisamment les anomalies potentielles avant qu'elles ne sortent du processus pour aller impacter le client.

Le tableau ci-après présente la partie qualitative de l'AMDEC Processus correspondante, qu'aurait pu réaliser le groupe de travail sur le processus d'élaboration de notre rasoir jetable :

BQS		AMDEC Processus : GRILLE D'ANALYSE																	
		Processus : Fabrication			Produit : Rasoir			Piloté : Nicolas S.			Animateur : Francois F.								
		Référence : ligne 1			Référence : BIC-JET			Date : 1/05/09			Indice : A								
DIAGRAMME FLUX : Fabrication rasoir du 1/05/09										SEUIL DE CRITICITE :									
(N°)	OPÉRATIONS (libellé)	PRODUIT Anomalie (libellé)	CLIENT Effets de l'anomalie	CS CC	PROCESSUS			NOTES				ACTIONS PREVENTIVES / CORRECTIVES			RESULTATS				
					Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance	prévu / existant				N° Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés				
								O	G	D	C				action	Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O	G	D	C
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	Montage impossible en OP 10		Choc avec transpalette	Sensibilisation caristes	Rien												
2	Attente production	Oxydation des lames	Mauvais rasage client		Durée d'attente trop longue	Temps d'attente maxi défini à 12h	Contrôle aspect en 10 à 100%												
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	Retour client		Erreur monteur	Formation monteur	Contrôle lames en 41												
		Lames trop sorties	Risque de coupure à l'utilisation		Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41												
		lames trop rentrées	Mauvais rasage client		Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41												
20	Boutillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	Désolidarisation à l'emploi		Profondeur boutillage trop faible	Rien	Contrôle lames en 41												
		Mauvais positionnement contre-lames	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation		Mauvais réglage robot	Rien	Contrôle lames en 41												
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	Rasoir inesthétique		Erreur opérateur	Rien	Contrôle aspect en 42												
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	Prise de jeu => Inconfort de rasage		Mauvaise fréquence US	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42												
		Dégradation aspect tête	Rasoir inesthétique		Pression de soudure trop forte	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42												
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	Client floué		Erreur robot	Rien	Rien												
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	Recherche cartons dans stock		Erreur cariste	Feuille de stock	Audit "5S"												
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	Cartons invendables => Retour usine		Durée de stockage trop longue	Définition temps de stockage maxi et nombre de cartons gérés maxi	Rien												
					Stockage conditions humides		Gerbage trop nombreux												

Tableau 2.8 : Partie qualitative de l'AMDEC Processus du rasoir

3.3. AMDEC Processus : Partie analyse quantitative

Comme nous avons pu le remarquer lors de l'analyse qualitative, le processus est a priori capable de produire moult anomalies différentes. L'objet de la partie quantitative de l'AMDEC Processus est d'évaluer chaque anomalie potentielle détectée lors de l'analyse qualitative en termes de criticité (niveau de risques) afin de déterminer quelles sont les anomalies qui nécessiteront une action corrective pour rendre leur niveau de risque acceptable.

Tout comme en AMDEC Produit, la criticité, aussi appelé IPR comme Indice de Priorité de Risque, sera le produit de l'occurrence (probabilité d'apparition), de la gravité (puissance de l'impact de l'anomalie sur le client) et de la détection (pertinence du plan de surveillance prévu). Classiquement, les critères d'occurrence, gravité et détection sont cotés sur une échelle allant de 1 à 10 (1 étant le niveau le moins gênant pour le client et 10 le plus) mais certaines littératures proposent des grilles allant de 1 à 4. Ces dernières, mêmes si elles présentent l'avantage de limiter les discussions autour de la cotation par un moindre choix de valeurs possibles, ont l'inconvénient de créer des Pareto de criticité beaucoup moins discriminants. Aussi, il est préférable, si on désire conserver l'intérêt des grilles simplifiées, d'utiliser des grilles à 4 niveaux avec les valeurs 1 ; 4 ; 7 ; 10 par exemple.

L'objet de l'AMDEC étant de classer les différentes anomalies par une cotation multicritère, il est capital que les critères soient indépendants les uns des autres. Cette indépendance doit se retrouver dans le libellé des grilles de cotation mais également dans les faits. Attention donc à ne pas faire l'erreur qui consiste à dire « cette anomalie n'est pas grave, car elle n'arrive pas souvent ». Le fait que le problème n'arrive pas souvent veut dire que la note d'occurrence sera basse ; mais ne donne aucune information sur l'impact de l'anomalie sur le client et donc sur la note de gravité.

Bien que de nombreux logiciels proposent de relier les cotations à un retour d'expérience formalisé, il nous semble que la meilleure façon de coter les AMDEC est une cotation au nez, c'est-à-dire en fonction du ressenti de chacun des membres du groupe, l'effet groupe permettant de lisser les différences de ressenti.

Certains animateurs font coter les critères par chacun des participants individuellement et font la moyenne des notes proposées. Il nous semble que cette approche limite les discussions entre les participants. Aussi nous préférons la recherche du consensus ; chacun des participants expliquant pourquoi il veut mettre telle ou telle note. En l'absence de consensus et en dernier ressort, l'animateur pourra se résoudre à utiliser la technique de la moyenne.

3.3.1. Cotation de l'occurrence

La cotation de l'occurrence consiste à évaluer la probabilité d'apparition de l'anomalie. Cette probabilité sera dépendra du niveau de maîtrise du processus et donc de la pertinence des actions de maîtrise mises en œuvre (colonne 7).

Pour évaluer l'occurrence, la procédure Renault [Renault, 2000] propose de coter la probabilité P1 d'apparition de la cause de l'anomalie, d'évaluer la probabilité que cette cause entraîne l'anomalie (cette probabilité étant une probabilité conditionnelle, elle est notée P2/1), l'occurrence étant le produit des probabilités P1 et P2/1. Outre sa complexité, une telle approche nous semble dangereuse car elle pousse à ventiler les cotations des

occurrences par cause, générant mécaniquement une sous-évaluation de l'occurrence réelle des anomalies.

Pour illustrer ce point, prenons l'exemple d'une opération de perçage où à l'anomalie « trou trop petit », le groupe de travail a noté les causes « foret usé » et « erreur de foret ». En imaginant que l'occurrence liée à la cause « foret usé » soit de 2 et celle liée à la cause « erreur de foret » soit de 3, on aurait pu obtenir des criticité respectivement de 48 et 72 si les notes de gravité et détections sont de 8 et 3. En choisissant un seuil de déclenchement d'actions correctives à 100, l'anomalie « trou trop petit » ne ferait pas l'objet d'une action.

DIAGRAMME FLUX :							SEUIL DE CRITICITE : 100				
PROCESSUS		PRODUIT	CLIENT		PROCESSUS			NOTES			
(N°)	Opérations (libellé)	Anomalie (libellé)	Effets de l'anomalie	CS CC	Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance	prévu / existant			
								O	G	D	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x	Perçage	Trou trop petit	Montage vis impossible	CS	Foret usé	Suivi par SPC	Suivi par SPC	2	8	3	48
					Erreur de foret			3	8	3	72

Tableau 2.9 : Cotation de l'occurrence en ventilant par cause

Si maintenant on considère globalement que l'occurrence de l'anomalie est sa probabilité d'apparition, quelque en soit la cause. L'occurrence devrait ici être cotée à 5, somme des occurrences précédentes de 2 et de 3. Avec les mêmes notes de gravité et de détection, la criticité relative à cette anomalie serait de 120 soit une criticité supérieure au seuil de 100. Une action corrective s'imposerait donc.

DIAGRAMME FLUX :							SEUIL DE CRITICITE : 100				
PROCESSUS		PRODUIT	CLIENT		PROCESSUS			NOTES			
(N°)	Opérations (libellé)	Anomalie (libellé)	Effets de l'anomalie	CS CC	Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance	prévu / existant			
								O	G	D	C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x	Perçage	Trou trop petit	Montage vis impossible	CS	Foret usé	Suivi par SPC	Suivi par SPC	5	8	3	120
					Erreur de foret						

Tableau 2.10 : Cotation de l'occurrence en ventilant par cause

Or, le client reçoit toutes les anomalies, quelque en soit la cause ! Aussi, il nous semble primordial de coter les occurrences globalement et non pas par cause.

Plutôt qu'occurrence, certaines littératures utilisent le terme de fréquence d'apparition. A nos yeux, ce terme n'est pas pertinent car il a une consonance déterministe. Or, si l'AMDEC est réalisée en phase industrialisation, nous sommes plutôt face à une probabilité. Aussi, le terme d'occurrence, pouvant aussi bien remplacer le terme « probabilité » pour les analyses en phase industrialisation que le terme « fréquence » utilisable en phase série, nous semble plus approprié.

3.3.2. Cotation de la gravité

Coter la gravité, aussi appelée sévérité, consiste à caractériser la puissance de l'impact de la l'anomalie sur le client. La sévérité est ainsi directement liée à l'effet. A l'animateur de s'assurer donc que, pour un même effet, on trouve la même note de gravité.

Ainsi, à partir du moment où l'effet de la défaillance est bien caractérisé, la cotation de la gravité est relativement aisée. C'est pourquoi la cotation de ce critère ne pose généralement pas de problème méthodologique.

Le référentiel automobile ISO TS 16949 demandant de mettre en lumière les caractéristiques qui, si elles défont, impactent fortement le client (caractéristiques spéciales), la plupart des constructeurs automobiles définissent le seuil de déclenchement du caractère spécial de la caractéristique sur la note de gravité. Selon les constructeurs et leur grille de cotation, ce seuil de déclenchement peut être défini au niveau correspondant à la panne immobilisante (seuil voisin de 8), ou baissé à la note correspondant à un mauvais fonctionnement du système (seuil proche de 6).

3.3.3. Cotation de la détection

Coter la détection correspond à coter la probabilité de bloquer l'anomalie avant qu'elle n'ait impacté le client. Aussi, certaines littératures, à l'instar de RENAULT, pour conserver la note de 1 pour une faible gêne client et 10 pour un fort impact, nomment ce critère « probabilité de non détection ». Nous n'avons pas d'avis particulier quant au nom donné à ce critère. Dans tous les cas, celui-ci correspond à l'évaluation de la pertinence des démarches de détections prévues dans le plan de surveillance pour bloquer l'anomalie.

3.3.4. Etude comparative des grilles de cotation proposées par les constructeurs automobile

Afin d'objectiver sa notation, le groupe se basera sur des grilles de cotation. Ces grilles ne peuvent pas être universelles (et donc normalisables) car elles doivent prendre en compte la situation particulière de chaque entreprise en termes de volumes produits et de fonctions assurées par le produit. Charge à l'équipe qualité de chaque entreprise de créer les meilleures grilles correspondant au mieux aux spécificités de son métier.

Bien que de nombreux articles aient été écrits sur le mode de cotation, présentant diverses grilles de cotation répondant à telle ou telle spécificité sectorielle, nous nous limiterons dans cet ouvrage à présenter les grilles proposées par les principaux constructeurs automobile (ces dernières étant à la base de la plupart des grilles utilisées dans le monde industriel).

3.3.4.1. Cotation de l'occurrence

3.3.4.1.1 Grille proposée par PSA

Dans sa procédure interne [PSA, 1999], le groupe PSA propose la grille de cotation de l'occurrence suivante :

Critère	Note O	Risque que le défaut se produise (à titre indicatif)
Probabilité très faible. Défaut inexistant sur processus analogue	1 ou 2	1 / 200 000 1 / 100 000
Probabilité faible. Très peu de défaut sur processus analogue	3 ou 4	1 / 20 000 1 / 10 000
Probabilité modérée. Défauts apparus occasionnellement sur des processus analogues	5 ou 6	1 / 5 000 1 / 2 000
Probabilité élevée. Défauts fréquents sur processus analogue.	7 ou 8	1 / 1 000 1 / 500
Probabilité très élevée. Il est certain que le défaut se produira fréquemment.	9 ou 10	1 / 200 > 1 / 100

Tableau 2.11 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par PSA

Comme la majorité des littératures, PSA propose une grille une double lecture : Une lecture subjective sur la partie gauche de la grille et une lecture objective sur la partie droite.

La grille subjective sera utilisée si le groupe de travail ne dispose pas d'un retour d'expérience sur un processus analogue ou si ce retour d'expérience n'est pas formalisé. Dans ce cas, la cotation se fera en fonction du ressenti des membres du groupe de travail, l'animateur s'efforçant de trouver un consensus entre chacun des participants.

La partie droite de la grille cote l'occurrence en fonction du taux d'anomalies potentiellement produites. Lorsque l'analyse AMDEC est faite en phase industrialisation, cette évaluation se fera sur la base du retour d'expériences issu du fonctionnement de processus semblables. Cependant, les processus n'étant jamais parfaitement identiques, ne serait-ce parce qu'ils sont mis en œuvre par des personnes différentes, on n'est jamais sûr que ces taux puissent être reconduits, on parlera ici de probabilité d'apparition de l'anomalie.

Si l'AMDEC est réalisée en phase production série, la cotation se fera en fonction des taux d'anomalies réellement fabriqués. On pourra alors parler de fréquence d'apparition.

3.3.4.1.2 Grille proposée par Renault

Contrairement à la plupart des autres constructeurs automobile, la grille du groupe RENAULT [Renault, 2000] ne propose qu'un mode de cotation objectivé en fonction du taux d'anomalie potentiellement produit. Lorsque l'AMDEC est menée en phase industrialisation sur un processus nouveau, ce taux peut être délicat voire impossible à évaluer. La grille ne sert ici qu'à donner des points de repère au groupe :

F	Probabilité d'apparition
1	[0 à 3 / 100 000 [
2	[3 / 100 000 à 1 / 10 000 [
3	[1 / 10 000 à 3 / 10 000 [
4	[3 / 10 000 à 1 / 1 000 [
5	[1 / 1 000 à 3 / 1 000 [
6	[3 / 1 000 à 1 / 100 [
7	[1 / 100 à 3 / 100 [
8	[3 / 100 à 10 / 100 [
9	[10 / 100 à 30 / 100 [
10	[30 / 100 à 100%]

Tableau 2.12 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par Renault

On pourra noter que cette grille utilise le terme de fréquence d'apparition, terme que nous n'aimons pas utiliser pour les raisons invoquées au paragraphe 3.3.1 du présent chapitre.

3.3.4.1.3 Grille proposée par le QS 9000

Dans le recueil FMEA associé au QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008], les constructeurs américains proposent la grille de cotation de l'occurrence suivante :

Likelihood of Failure	Criterie : Occurrence of Cause - PFMEA (incidents per Item/Vehicule)	Ranking
Very High	≥ 100 per thousand ≥ 1 in 10	10
High	50 per thousand 1 in 20	9
	20 per thousand 1 in 50	8
	10 per thousand 1 in 100	7
Moderate	2 per thousand 1 in 500	6
	.5 per thousand 1 in 2,000	5
	.1 per thousand 1 in 10,000	4
Low	.01 per thousand 1 in 100,000	3
	≤ .01 per thousand 1 in 1,000,000	2
Very low	Failure is eliminated through preventive control	1

Tableau 2.13 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le QS 9000 (éd. IV)

Tout comme la grille proposée par PSA, cette grille présente dans sa partie gauche une cotation subjective et dans sa partie droite une cotation objective en pour-mille.

Si la partie subjective de la grille PSA annonçait clairement que la référence devait être des processus analogues, on peut noter que le libellé de cette grille reste relativement peu

précis. Le principal avantage de la partie objective de cette grille est que les valeurs qu'elle propose sont rigoureusement identiques à la grille proposée pour l'AMDEC Produit permettant au groupe de rester sur les mêmes références de taux, qu'ils réalisent une AMDEC Produit ou une AMDEC Processus.

En termes de niveaux, cette grille propose un éventail allant de 1 pour 10 pour des taux allant respectivement de 1 ppm à 10% (contrairement à la grille RENAULT par exemple pour laquelle pour valeur la plus faible proposée est 3/100000). Cette grille étant la dernière écrite à ce jour parmi les grilles proposées par notre échantillon de constructeurs automobile, elle est beaucoup plus compatible avec les exigences qualité d'aujourd'hui en termes de taux alloués aux fournitures.

Dans sa troisième édition de juillet 2001, le recueil FMEA associé au QS 9000 proposait également une évaluation de l'occurrence par la mesure de la capacité du processus au travers l'indicateur Ppk. D'un point de vue strictement statistique, le Ppk [Pillet, 2005] étant une extrapolation statistique d'un taux de non-conformes, il nous semble intéressant de prendre en compte cet indicateur dans l'évaluation de l'occurrence.

Probability of Failure	Likely Failure Rates	Ppk	Ranking
Very High : Persistent failures	≥ 100 per thousand pieces	$< 0,55$	10
	50 per thousand pieces	$\geq 0,55$	9
High : Frequent failures	20 per thousand pieces	$\geq 0,78$	8
	10 per thousand pieces	$\geq 0,86$	7
Moderate : Occasional failures	5 per thousand pieces	$\geq 0,94$	6
	2 per thousand pieces	$\geq 1,00$	5
	1 per thousand pieces	$\geq 1,10$	4
Low : Relatively few failures	0,5 per thousand pieces	$\geq 1,20$	3
	0,1 per thousand pieces	$\geq 1,30$	2
Remote : Failure is unlikely	$\leq 0,01$ per thousand pieces	$\geq 1,67$	1

Tableau 2.14 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le QS 9000 (éd. III)

3.3.4.1.4 Grille proposée par le VDA

Dans la procédure FMEA associé au VDA [VDA, 1996], les constructeurs allemands proposent la grille de cotation de l'occurrence suivante :

Ranking	Evaluation ranking Index for the Occurrence likelihood O	Attributed failure quota in ppm
10 9	<i>Very large</i>	
	Very frequent occurrence of failure cause unusable, unsuitable process	500.000 100.000
8 7	<i>Large</i>	
	Failure reason occurs again and again, Inaccurate process	50.000 10.000
6 5	<i>Moderate</i>	
	Occasionally occurring failure cause	5.000
	less accurate process	1.000 500
3 2	<i>Low</i>	
	occurrence likelihood of failure cause is low. Accurate process	100 50
1	<i>Very low</i> Occurrence of failure cause is improbable	1

Tableau 2.15 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le VDA

Comme pour les grilles PSA ou QS 9000, cette grille propose une approche subjective et une approche objective. A nos yeux, les précisions apportées à la partie subjective apportent un plus par rapport aux simples notions de « faible » « moyen » « forte » proposées par le QS9000 par exemple. Dans sa partie droite, la grille en taux est également identique à la grille proposée par le VDA pour l'AMDEC Produit. Ces deux éléments font qu'elle constitue notre grille constructeur préférée pour le critère occurrence.

3.3.4.1.5 Grille proposée un équipementier automobile

En plus des grilles proposées par les principaux constructeurs automobile, nous présentons ici une grille proposée par un équipementier automobile (dont nous tairons le nom pour des raisons de confidentialité) qui propose un mode complémentaire d'évaluation de l'occurrence.

En effet, outre une cotation subjective et une cotation en taux, cette grille propose une cotation calendaire en fonction de la cadence. Un tel mode d'évaluation est très facile à utiliser pour les groupes de travail dont la mémoire est inévitablement beaucoup plus fiable en valeurs calendaires qu'en taux de non-conformes.

(F) Fréquence			Ordre de grandeur du nombre de défauts selon la cadence					
Critère	F	Probabilité d'apparition	1000 p./jour	2000 p./jour	3000 p./jour	5000 p./jour	7000 p./jour	10000 p./jour
Il n'est pas raisonnable de prévoir une défaillance / jamais	1	1 ppm = 1/1000000	1 défaut tous les 5 an(s)	1 défaut tous les 2 an(s)	1 défaut tous les 2 an(s)	1 défaut tous les 10 mois	1 défaut tous les 7 mois	1 défaut tous les 5 mois
Légère défaillance en relation avec le nombre de produits vendus sur des projets similaires / rare	2	10 ppm = 1/100000	1 défaut tous les 5 mois	1 défaut tous les 3 mois	1 défaut tous les 2 mois	1 défaut tous les 1 mois	1 défaut toutes les 3 semaines	1 défaut toutes les 2 semaines
	3	100 ppm = 1/10000	1 défaut toutes les 2 semaines	1 défaut tous les 5 jours	1 défaut tous les 3 jours	1 défaut tous les 2 jours	1 défaut tous les 1,5 jours	1 défaut(s) par jour
Défaillance occasionnelle observée sur des projets similaires / de temps en temps	4	500 ppm = 1/2000	1 défaut tous les 2 jours	1 défaut(s) par jour	1,5 défaut(s) par jour	2,5 défaut(s) par jour	1 défaut(s) par équipe	2 défaut(s) par équipe
	5	1000 ppm = 1/1000	1 défaut(s) par jour	2 défaut(s) par jour	1 défaut(s) par équipe	2 défaut(s) par équipe	2 défaut(s) par équipe	3 défaut(s) par équipe
	6	5000 ppm = 1/200	2 défaut(s) par équipe	3 défaut(s) par équipe	5 défaut(s) par équipe	8 défaut(s) par équipe	12 défaut(s) par équipe	17 défaut(s) par équipe
Défaillance habituelle connue sur des projets similaires / souvent	7	10 000 ppm = 1/100	3 défaut(s) par équipe	7 défaut(s) par équipe	10 défaut(s) par équipe	17 défaut(s) par équipe	23 défaut(s) par équipe	33 défaut(s) par équipe
	8	50 000 ppm = 1/20	15 défaut(s) par équipe	30 défaut(s) par équipe	50 défaut(s) par équipe	80 défaut(s) par équipe	100 défaut(s) par équipe	150 défaut(s) par équipe
Il est presque certain que la défaillance va apparaître dans des proportions majeures / tout le temps	9	100 000 ppm = 1/10	30 défaut(s) par équipe	70 défaut(s) par équipe	100 défaut(s) par équipe	200 défaut(s) par équipe	250 défaut(s) par équipe	350 défaut(s) par équipe
	10	500 000 ppm = 1/2	200 défaut(s) par équipe	350 défaut(s) par équipe	500 défaut(s) par équipe	850 défaut(s) par équipe	1200 défaut(s) par équipe	1700 défaut(s) par équipe

Tableau 2.16 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par un équipementier automobile

3.3.4.2. Cotation de la gravité

3.3.4.2.1 Grille proposée par PSA

En termes de gravité (appelée ici « Sévérité »), le groupe PSA propose la grille suivante :

Critère client Final	Note S	Critère client Aval
Effet minime. Le client ne s'en aperçoit pas	1	Aucune influence sur les opérations de fabrication suivantes ou dans l'usine cliente
Effet mineur que le client peut déceler, mais ne provoquant qu'une légère gêne et aucune dégradation notable des performances de l'ensemble.	2 ou 3	Effet mineur que le l'opérateur aval ou l'usine cliente peut déceler, mais ne provoquant qu'une gêne légère sans perturbation de flux
Effet avec signe avant coureur qui mécontente le client ou le met mal à l'aise	4 ou 5	Effet avec signe avant coureur qui mécontente l'opérateur aval ou l'usine cliente. Légère perturbation du flux aval.
Effet sans signe avant coureur (ou avec signe avant coureur sans solution) qui mécontente le client. Elle l'indispose ou le met mal à l'aise. On peut noter une dégradation des performances du sous ensemble. Les frais de réparation sont modérés.	6 ou 7	Effet sans signe avant coureur qui mécontente l'opérateur aval ou l'usine cliente. Perturbation modérée du flux. Peut provoquer quelques rebuts ou retouches sur le produit. Frais de remise en état du processus modérés
Effet avec signe avant coureur qui provoque un grand mécontentement du client et/ou des frais de réparation élevés en raison d'un véhicule ou d'un sous ensemble en panne.	8	Effet avec signe avant coureur qui provoque un grand mécontentement de l'opérateur aval ou l'usine cliente. Importante perturbation du flux. Rebut ou retouches importants sur le produit. Frais de remise en état du processus élevés
Effet sans signe avant coureur qui provoque un grand mécontentement du client et/ou des frais de réparation élevés en raison d'un véhicule ou d'un sous ensemble en panne.	9	Effet sans signe avant coureur qui provoque un grand mécontentement de l'opérateur aval ou l'usine cliente. Importante perturbation du flux. Rebut ou retouches importants sur le produit. Frais de remise en état du processus élevés
Effet impliquant des problèmes de sécurité ou de non conformité aux règlements en vigueur	10	Effet impliquant des problèmes de sécurité pour l'opérateur aval ou l'usine cliente. Arrêt du processus de fabrication.

Tableau 2.17 : Grille de cotation de la gravité proposée par PSA

Cette grille propose une grille double lecture en fonction du client impacté :

- le client final c'est-à-dire l'automobiliste dans son véhicule.
- Le client aval c'est-à-dire l'usine cliente (qui en général, est l'usine du constructeur).

Si chacun de ces deux clients est impacté par l'anomalie, la procédure PSA prévoit de coter l'impact sur chacun d'entre eux et de ne retenir que la note sur le client le plus impacté.

Même si cette grille ne présente pas de problème méthodologiques majeurs, nous trouvons les libellés peu précis par rapport à d'autres grilles plus récentes et notamment celle proposée par le QS 9000.

3.3.4.2.2 Grille proposée par Renault

La grille de gravité proposée par RENAULT [Renault, 2000] en AMDEC Processus est la même que celle proposée pour l'AMDEC Produit ce qui permet de mettre les notes de gravité en correspondance. Cette grille présente l'avantage de proposer une cotation non seulement selon le ressenti du client conducteur du véhicule, mais également en fonction de l'importance de la fonction perturbée par la défaillance. Une telle approche devrait permettre aux équipementiers de rang élevés de mieux pouvoir évaluer l'impact des anomalies dans le cadre d'une ingénierie système correctement menée.

Cependant, la grille ne propose pas de cotation en fonction de l'impact sur les opérations avales du flux, ce qui à nos yeux constitue un manque évident.

Ci-après la grille proposée par Renault :

G	Conséquences pour l'automobiliste	Fonction de service perturbée
1	Le client n'est pas en mesure de déceler cette défaillance potentielle	La nature minime de la fonction de service perturbée n'entraîne pas d'effet perceptible sur les performances du véhicule ou de ses équipements
2 - 3	La défaillance potentielle constitue une gêne légère pour le client	La nature minime de la fonction de service perturbée entraîne pas de dégradations notables des performances du véhicule ou de ses équipements
4 - 5	La défaillance potentielle indispose le client ou le met mal à l'aise	La fonction de service perturbée, avec signes avant coureur, entraîne une faible dégradation des performances du véhicule ou des ses équipements
6 - 7	La défaillance potentielle mécontente le client. Les frais de réparation sont modérés	La fonction de service perturbée, sans signes avant coureur, entraîne une dégradation notable des performances du véhicule ou des ses équipements
8	La défaillance potentielle entraîne un grand mécontentement du client. Les frais de réparation sont élevés.	La fonction de service perturbée, avec ou sans signes avant coureur, entraîne la perte d'une fonction non immobilisante pour le véhicule
9	La défaillance potentielle entraîne un grand mécontentement du client : véhicule immobilisé	La fonction perturbée entraîne une panne immobilisante pour le véhicule
10	La fonction perturbée entraîne une défaillance potentielle relative à la sécurité ou au non respect de la réglementation en vigueur	

Tableau 2.18 : Grille de cotation de la sévérité proposée par Renault

3.3.4.2.3 Grille proposée par le QS 9000

A notre avis, la grille de cotation de la sévérité (terme utilisé ici à la place de gravité) proposée par le recueil FMEA associé au QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] est la grille constructeur la plus aboutie. En effet, on retrouve dans cette grille la somme des points positifs présents dans les grilles des principaux constructeurs. Ainsi, comme dans la grille PSA, cette grille propose une double cotation en fonction du client le plus impacté (client utilisateur ou client fabricant). Et de même que dans la grille RENAULT, la partie impact client utilisateur est évaluée en fonction du ressenti sensoriel par le client conducteur du

véhicule (ce point, déjà décrit dans l'AMDEC Produit, présente l'avantage de prendre en compte la variabilité des niveaux de ressenti client pour les défauts sensoriels comme les bruyances ou les défauts visuels), mais également en fonction de l'importance de la fonction perturbée par la défaillance. Tout comme chez RENAULT, cette partie impact client est la même que la grille de gravité de l'AMDEC Produit ce qui permet de garder une cohérence en termes de cotation entre ces deux AMDEC.

Côté impact sur le client fabricant, il nous semble que cette grille est plus précise que la grille PSA car elle prend en compte non seulement l'impact sur le flux généré par la quantité d'anomalies produites (100% d'anomalies, une portion seulement de la production impactée) mais également l'action curative à mener sur ces anomalies (rebut ou retouche) et la position de l'endroit où seront réparées lesdites anomalies (au poste, sur ligne, hors ligne, etc.)

La grille de sévérité proposée par les constructeurs américains est la suivante :

Effect	Criteria: Severity of Effect on Product (Customer Effect)	Rank	Effect	Criteria: Severity of Effect on Process (Manufacturing / Assembly Effect)
Failure to meet Safety and/or Regulatory Requirements	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10	Failure to meet Safety and/or Regulatory Requirements	May endanger operator (machine or assembly), without warning
	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9		May endanger operator (machine or assembly), with warning
Loss or Degradation of Primary Function	Loss of primary function (vehicle inoperable, does not affect safe vehicle operation).	8	Major disruption	100% of product may have to be scrapped. Line shutdown or stop ship.
	Degradation of primary function (vehicle operable, but at reduced level of performance).	7	Significant disruption	A portion of the production run may have to be scrapped. Deviation from primary process including decreased line speed or added manpower.
Loss or Degradation of Secondary Function	Loss of secondary function (vehicle operable, but Comfort/Convenience functions inoperable)	6	Moderate disruption	100% of production run may have to be reworked off line and accepted.
	Degradation of secondary function (vehicle operable, but Comfort/Convenience operable at reduced level of performance).	5		A portion of production run may have to be reworked off line and accepted.
Annoyance	Appearance or Audible Noise. Vehicle operable, item does not conform and noticed by most customers (> 75%).	4	Moderate disruption	100% of production run may have to be reworked in station before it is processed.
	Appearance or Audible Noise. Vehicle operable, item does not conform and noticed by many customers (50%).	3		A portion of production run may have to be reworked in station before it is processed.
	Appearance or Audible Noise. Vehicle operable, item does not conform and noticed by discriminating customers (<25%).	2	Minor disruption	Slight inconvenience to process operation, or operator
No effect	No discernible effect	1	No effect	No discernible effect

Tableau 2.19 : Grille de cotation de la sévérité proposée par le QS 9000

3.3.4.2.4 Grille proposée par le VDA

La grille proposée par les constructeurs allemands au travers du VDA [VDA, 1996], est quand à notre avis la moins bonne des grilles constructeurs car, bien qu'elle soit identique à celle de l'AMDEC Produit, elle ne propose qu'un impact sur les fonctions du système et encore, avec un libellé un peu trop simpliste à nos yeux, et peu de niveaux possibles. Ce faible nombre de niveaux possibles, pouvant être considéré comme un avantage a priori, se révèle en fait être délicat à utiliser pour les groupes de travail car ceux-ci ne savent pas forcément sur quels critères différencier les notes correspondant au même libellé.

La grille de sévérité proposée par la procédure FMEA associée au VDA est la suivante :

Ranking	Evaluation ranking Index for the Severity S
10 9	<i>Very large</i> Safety risk, non-compliance with statutory provisions, Conked-out vehicle
	<i>Large</i> Operability of vehicle considerably impaired. Immediate inspection at garage is urgently required. Restriction functioning of important subsystems
6 5 4	<i>Moderate</i> Operability of vehicle impaired Immediate inspection at garage is not urgently required. Restriction functioning of important comfort and convenience systems
	<i>Low</i> Minor restriction of operability of the vehicle. Clearing at the next scheduled inspection in garage. Minor restrictions of comfort and conveniences systems
	<i>Very low</i> Very minor restrictions of operability, discernible only by the skilled personnel

Tableau 2.20 : Grille de cotation de l'occurrence proposée par le VDA

3.3.4.3. Cotation de la détection

3.3.4.3.1 Grille proposée par PSA

Dans sa procédure interne [PSA, 1999], le groupe PSA propose la grille de cotation de la détection suivante :

Critère	Note D	Risque de laisser passer un produit défectueux (exemple)
Très faible probabilité de ne pas détecter la cause du défaut ou de le laisser passer avant que le produit ne quitte l'opération concernée. Surveillance automatique et permanente des paramètres processus et à 100% des caractéristiques produit (SAE).	1 ou 2	1 / 200 000 1 / 100 000
Faible probabilité de ne pas détecter la cause du défaut ou de le laisser passer avant que le produit ne quitte l'opération concernée. Ex : Le défaut est évident. Quelques défauts échapperont à la détection (contrôle unitaire par l'opérateur).	3 ou 4	1 / 20 000 1 / 10 000
Probabilité modérée de ne pas détecter la cause du défaut ou de le laisser passer avant que le produit ne quitte l'opération concernée. Ex : Contrôle manuel / visuel difficile.	5 ou 6	1 / 5 000 1 / 2 000
Probabilité élevée de ne pas détecter la cause du défaut ou de le laisser passer avant que le produit ne quitte l'opération concernée. Ex : Le contrôle est subjectif	7 ou 8	1 / 1 000 1 / 500
Probabilité très élevée de ne pas détecter la cause du défaut ou de le laisser passer avant que le produit ne quitte l'opération concernée. Ex : Le point n'est pas contrôlé ou contrôlable. Le défaut et ses causes ne sont pas décelables.	9 ou 10	1 / 200 > 1 / 100

Tableau 2.21 : Grille de cotation de la détection proposée par PSA

Côté droit, cette grille propose une cotation en fonction du taux de fuite des démarches de détections prévues dans le plan de surveillance. Cette approche, séduisante a priori, n'est dans la réalité jamais applicable car il est très délicat pour un fabricant de connaître le taux de fuite de ses opérations de contrôle. En effet, une évaluation de ce taux de fuite par mesure directe est souvent impossible car généralement seul le client peut percevoir que le contrôle a mal été fait, et une évaluation sur site par plan d'expériences est toujours biaisée par le seul fait que les contrôleurs voient qu'ils sont « surveillés » et font plus attention.

Côté gauche, la grille PSA propose une approche subjective en « très faible probabilité », « faible probabilité », « probabilité modérée », etc. que la grille illustre par des exemples comme « contrôle manuel / visuel difficile ». Cependant, hormis pour la valeur 1 où l'exemple est « contrôle automatique à 100% », les exemples proposés sont toujours orientés contrôle humain. Aussi, le groupe n'aura par exemple aucun moyen de coter judicieusement la différence entre un contrôle automatique à 100% d'une teinte de peinture par caméra bruitée par des effets de lumière générant des taux de fuite (pourtant théoriquement coté 1 car contrôle à 100% automatique », d'un contrôle visuel de présence d'une pièce qui se verrait comme le nez au milieu de la figure et que le contrôleur ne pourra pas rater (et pourtant coté 3 dans cette grille).

3.3.4.3.2 Grille proposée par Renault

De son côté, la grille ci-après proposée par RENAULT ne propose qu'une cotation en taux de fuite. Comme nous l'avons dit pour la grille PSA, une telle approche est quasi impossible à réaliser objectivement ce qui rend, à nos yeux, cette grille inutilisable :

D	Probabilité d'atteindre le client
1	[0 à 1%]
2	[1% à 4%]
3	[4% à 9%]
4	[9% à 16%]
5	[16% à 25%]
6	[25% à 36%]
7	[36% à 49%]
8	[49% à 64%]
9	[64% à 81%]
10	[81% à 100%]

Tableau 2.22 : Grille de cotation de la détection proposée par Renault

3.3.4.3.3 Grille proposée par le QS 9000

Comme pour les grilles d'occurrence et de gravité, la grille de détection proposée par le recueil FMEA du QS 9000 nous semble la grille la plus aboutie à ce jour.

Opportunity for Detection	Criteria: Likelihood of Detection by Process Control	Rank	Likelihood of Detection
No detection opportunity	No current process control; cannot detect or is not analyzed.	10	Almost impossible
Not likely to detect at any stage	Failure Mode and/or Error (Cause) is not easily detected (e.g., random audits).	9	Very Remote
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by operator through visual/tactile/audible means.	8	Remote
Problem Detection at Source	Failure Mode detection in-station by operator through visual/tactile/audible means or post-processing through use of attribute gauging (go/no-go, manual torque check/clicker wrench, etc.)	7	Very Low
Problem Detection Post Processing	Failure Mode detection post-processing by operator through use of variable gauging or in-station by operator through use of attribute gauging (go/no-go, manual torque check/clicker wrench, etc.)	6	Low
Problem Detection at Source	Failure Mode or error (Cause) detection in-station by operator through use of variable gauging or by automated controls in-station that will detect discrepant part and notify operator (light, buzzer, etc.). Gauging performed on setup and first-piece check (for set-up causes only).	5	Moderate
Problem Detection Post Processing	Failure mode detection post-processing by automated controls that will detect discrepant part and lock part to prevent further processing.	4	Moderately High
Problem Detection at Source	Failure mode detection in-station by automated controls that will detect discrepant part and automatically lock part in station to prevent further processing.	3	High
Error Detection and/or Problem prevention	Error (Cause) detection in-station by automated controls that will detect error and prevent discrepant part from being made.	2	Very High
Detection not applicable, Error Prevention	Error (Cause) prevention as a result of fixture design, machine design or part design. Discrepant parts cannot be made because item has been error-proofed by process / product design.	1	Almost Certain

Tableau 2.23 : Grille de cotation de la détection proposée par le QS 9000

Dans la colonne de gauche, cette grille propose de coter la détection en fonction de l'endroit où est bloquée l'anomalie (Détection à l'opération génératrice de l'anomalie ou détection aux opérations suivantes) ; une telle approche permettant de privilégier une détection de l'anomalie au plus près de son lieu de production afin d'éviter de mettre de la valeur ajoutée sur une pièce non-conforme.

Au centre, la grille propose une cotation en fonction du mode de détection mis en œuvre (contrôle sensoriel, contrôle à l'attribut – systèmes passe / passe-pas, contrôle à la mesure, contrôle automatique, etc...) où contrairement à la grille PSA, les exemples de méthodes proposées sont beaucoup plus proches des techniques actuelles.

Dans sa partie droite, on retrouve une approche purement subjective en « faible », « moyen », « fort », toujours nécessaire lorsque le retour d'expérience du groupe quant à la technique de détection mise en œuvre est trop faible.

3.3.4.3.4 Grille proposée par le VDA

La grille proposée par le recueil FMEA associé au VDA [VDA, 1996] a une approche très semblable à la grille proposée par PSA. En effet, tout comme avec la grille PSA, la Détection peut être cotée de façon subjective (colonne de gauche) ou en fonction du taux de fuite des démarches de détection prévues. Remarquons que pour la colonne de droite, l'échelle des probabilités est très resserrée. Nous avons déjà évoqué à l'analyse des grilles PSA ou RENAULT la très grande difficulté à évaluer ce taux de fuite de façon objective ; mais avec une si faible différence entre les niveaux proposés, une cotation réellement discriminante nous semble véritablement impossible !

Ranking	Evaluation ranking Index for the Detection likelihood D	Certainty of detection method
10 9	<i>Very low</i> Detection of occurred failure causes is improbable, the failure causes will or can not be detected.	90%
8 7	<i>Low</i> Detection of occurred failure causes is less probable. Failure cause will probably not be detected. Uncertain examinations.	98%
6 5 4	<i>Moderate</i> Detection of occurred failure causes is probable. Examinations are relatively certain.	99,7%
3 2	<i>Large</i> Detection of occurred failure causes is very probable. Examinations are certain, e.g. by several tests independent from each other.	99,9%
1	<i>Very low</i> Occurrence failure cause will certainly be detected	99,9%

Tableau 2.24 : Grille de cotation de la détection proposée par le VDA

3.3.4.4. Tableau de comparaison synthétique

Comme chacun sait, il n'existe pas de grilles idéales, applicables quelque soit le secteur d'activité ou le produit fabriqué, chaque entreprise devant construire les grilles correspondant le mieux à son activité. Cependant, il nous semble que qu'un certain nombre d'avantage ou d'inconvénients génériques ressortent de l'analyse des grilles ci-dessus. Nous les avons résumés dans le tableau ci-après, les points notés en rouge correspondant à notre avis aux modes de cotation les plus aisés à utiliser pour les entreprises, quelqu'en soit l'activité :

Source		Occurrence	Gravité	Détection
PSA	Avantage	- Double niveau de cotation : Cotation subjective ou cotation objective en taux	- Prise en compte du client utilisateur et du client constructeur	- Double niveau de cotation : Cotation objective en taux de fuite ou cotation subjective
	Inconvénient	- Pas de cotation en calendrier ou en capacité	- Impact sur le client et/ou sur le flux parfois délicat à évaluer pour l'industrialisateur	- Taux de fuite impossible à évaluer en pourcentage
RENAULT	Avantage	/	- Double niveau de cotation : impact sur la fonction étudié ou impact sur l'automobiliste - Grille identique à celle de l'AMDEC Produit	/
	Inconvénient	- Cotation en taux seul	- Pas de cotation en fonction de l'impact des anomalies sur les opérations aval du processus	- Cotation sur le seul critère taux de fuite, impossible à évaluer
QS 9000	Avantage	- Double niveau de cotation : Cotation objective en K% ou cotation subjective - Taux identiques en AMDEC Produit et en AMDEC Processus - Taux compatibles avec les exigences qualité d'aujourd'hui	- Prise en compte du client utilisateur et du client constructeur - Grille impact utilisateur identique à celle de l'AMDEC Produit - Prise en compte de la variabilité des niveaux de ressenti client pour les défauts sensoriels	- Triple niveau de cotation : * Cotation en fonction de la position du contrôle dans le flux (à l'opération, plus loin dans le flux) * Cotation en fonction du mode de détection mis en œuvre (automatique, visuel, à la mesure, à l'attribut, etc.) * Cotation subjective en "faible proba", "proba moyenne", "forte proba"
	Inconvénient	- Libellé grille subjective peu précis - Pas de cotation en calendrier ou en capacité	/	/
VDA	Avantage	- Double niveau de cotation : Cotation subjective ou cotation objective - Taux identiques en AMDEC Produit et en AMDEC Processus	- Grille identique à celle de l'AMDEC Produit	- Double niveau de cotation : Cotation objective en taux de fuite ou cotation subjective
	Inconvénient	- Pas de cotation en calendrier ou en capacité	- Pas de cotation en fonction de l'impact des anomalies sur les opérations aval du processus - Libellé peu précis	- Taux de fuite impossible à évaluer en pourcentage - Echelle des taux de fuite trop resserrée pour être discriminante

Tableau 2.25 : Avantages et inconvénients des principales grilles constructeurs automobile

3.3.5. Nos propositions en termes de grilles de cotation d'AMDEC Processus

Le tableau comparatif ci-dessus montre que globalement, nous pensons que les grilles actuellement proposées par le recueil FMEA associées au QS 9000 ne sont pas loin de pouvoir être considérée comme les « grilles idéales ». Cependant, il nous semble que certains critères peuvent être plus précis pour être encore plus facilement utilisable. Aussi, nous proposons ci-après les quelques grilles que nous utilisons actuellement, fruit d'une vingtaine d'années d'expérimentations dans diverses entreprises de divers secteurs industriels.

3.3.5.1. Cotation de l'occurrence

Aux cotations subjectives en « faible » « moyen » « fort », et en taux de fuite proposées par le QS 9000, nous pensons qu'il serait utile à l'industrialisateur d'ajouter une évaluation de l'occurrence selon l'indicateur de capacité Ppk, ainsi qu'une évaluation calendaire en « 1 fois par mois », « 1 fois par an », etc.

Critère	Occurrence	Note
- Anomalie apparue fréquemment sur un produit similaire (1 anomalie/jour) - Capabilité processus : Ppk < 0,66 - Risque de générer 1 produit défectueux sur 100 produits fabriqués (1%)	Fréquent	10
- Anomalie apparue occasionnellement sur un produit similaire (1 anomalie/semaine) - Capabilité processus : Ppk ≈ 1 - Risque de générer 1 produit défectueux sur 1000 produits fabriqués (1K‰)	Occasionnel	7
- Anomalie apparue rarement sur un produit similaire (1 anomalie/mois) - Capabilité processus : Ppk > 1,33 - Risque de générer 1 produit défectueux sur 10 000 produits fabriqués (100 ppm)	Rare	4
- Anomalie quasiment jamais apparue sur un produit similaire (1 anomalie/an) - Capabilité processus : Ppk > 1,66 - Risque de générer 1 produit défectueux sur 1 000 000 produits fabriqués (1 ppm)	Pratiquement inexistant	10

Tableau 2.26 : notre proposition de grille de cotation de l'occurrence

En effet, l'indicateur de capabilité de type Ppk [Pillet, 2005] reflète l'aptitude du processus de fabrication à produire la caractéristique considérée dans les tolérances. Il est calculé par la formule suivante :

$$Ppk = \min(Ppu; Ppl) = \min\left(\frac{T_s - m}{3\sigma}; \frac{m - T_i}{3\sigma}\right)$$

Avec :

- Ts : Tolérance supérieure
- Ti : Tolérance inférieure
- m : moyenne de la distribution
- σ : écart-type de la distribution

D'un point de vue théorique, on peut directement déduire de cet indicateur le taux de non conformes que le processus devrait produire s'il fabriquait des milliers de pièces. Ce taux peut être évalué par les formules :

$$\text{taux NC supérieurs} = 1 - F(3Ppu) \text{ et } \text{taux NC inférieurs} = 1 - F(3Ppl)$$

Avec F fonction de répartition de la loi normale centrée réduite.

Ainsi, les indicateurs de capabilité étant directement reliés au taux de non-conformes théoriquement produits, ils traduisent également la notion d'occurrence et sont donc intégrés dans notre grille.

Quant à la cotation par une approche calendaire, la mémoire humaine étant a priori plus à même de retenir des dates que des taux de non-conformes, elle est intégrée également à notre grille.

Par contre, nous n'avons pas retenu l'approche calendaire en fonction de la cadence comme le propose notre équipementier automobile ; cette notion, certes intéressante, présentant l'inconvénient d'alourdir énormément la grille.

3.3.5.2. Cotation de la gravité

Même si notre préférence va pour la grille proposée par le QS 9000, on remarque que les grilles de gravité classiques, proposées par les principaux constructeurs automobile, ne présentant que peu d'écarts méthodologiques les unes par rapport aux autres, sans comporter de griefs rédhibitoires à nos yeux. Aussi, nous avons envisagé un autre axe de cotation qu'est le coût de la remise en conformité de l'anomalie potentiellement générée:

Gravité	Note
Coût de traitement de l'anomalie pouvant mettre en péril la santé de l'entreprise ($t\text{€} \geq C$)	10
Coût de traitement de l'anomalie pouvant impacter le résultat annuel de l'entreprise ($z\text{€} < C \leq t\text{€}$)	7
Coût de traitement de l'anomalie supérieur au coût moyen de non qualité ($y\text{€} < C \leq z\text{€}$)	5
Coût de traitement de l'anomalie dans la moyenne des coûts de non qualité ($x\text{€} < C \leq y\text{€}$)	3
Coût de traitement de l'anomalie négligeable ($C \leq x\text{€}$)	1

Tableau 2.27 : notre proposition de grille de cotation de la gravité

Cependant, évaluer le coût réel d'une anomalie n'est généralement pas très simple à appréhender par la plupart des groupes de travail. Même si la norme relative à l'évaluation des défauts de contribution référencée FDX 50 180 [AFNOR, 1999] donne des éléments pour chiffrer les coûts de non-qualité, ce chiffrage reste toujours très délicat pour sa partie dite « coût visible » comme le coût de la perte matière ou le cout main d'œuvre ; et complètement impossible pour sa partie « coûts cachés » comme les coûts de perte d'image suite à réclamation client.

De plus, une telle approche biaise quelque peu la définition de la gravité qui est la puissance de l'impact de la défaillance sur le client (utilisateur) et non sur le producteur. Cette remarque nous contraint à suggérer de ne pas utiliser de grilles selon cette approche en AMDEC Processus.

3.3.5.3. Cotation de la détection

Coté cotation, nous pensons que même si la grille proposée par le QS 9000 (la meilleure grille actuelle à nos yeux) propose tous les concepts nécessaire à la cotation, tous ne sont pas forcément libellés de la manière la plus explicite pour l'industrialisateur, ni forcément utiles pour chaque entreprise. Aussi, nous proposons deux grilles, une première en fonction de l'endroit où est détectée l'anomalie dans le processus, une seconde en fonction du type de démarche de détection mise en œuvre.

Positionnement de la détection	Note
Détection à coup sûr à l'opération génératrice du défaut	1
Détection à coup sûr à l'opération suivant l'opération génératrice du défaut	3
Détection à coup sûr en interne	6
Détection à coup sûr au contrôle final	8
Pas de détection	10

Tableau 2.28 : Proposition N°1 : Cotation de la détection en fonction de la position du contrôle

Mode de détection	Note
Pas de détection	10
Contrôle diffus (si on tombe dessus)	9
Contrôle visuel par échantillonnage	8
Contrôle à la mesure par échantillonnage	7
Contrôle au gabarit par échantillonnage	6
Contrôle visuel à 100%	5
Contrôle visuel double à 100% (par 2 opérateurs des suite)	4
Contrôle à la mesure à 100%	3
Contrôle au gabarit à 100%	2
Contrôle automatique à 100% (avec évacuation automatique)	1

Tableau 2.29 : Proposition N°2 : Cotation de la détection en fonction du type de contrôle mis en œuvre

3.3.6. Approche originale de cotation de l'AMDEC Processus : la cotation ppm

En 2002, nous avons publié un article dans la revue Qualité Référence où nous proposons de coter les AMDEC Moyens de production non plus en criticité, produit des notes d'occurrence, de gravité et de détection, mais directement en heure afin de s'affranchir de l'utilisation de grilles de cotation. Une approche similaire peut être également utilisée pour coter les AMDEC Processus, nous l'avons appelée la « cotation ppm ».

Définissons l'occurrence comme étant la probabilité de défaillance du processus ramenée à la pièce fabriquée. Cette occurrence sera directement évaluée en probabilité dans passer par une grille de cotation. Ainsi par exemple :

Occurrence	Note
1 défaillance process / pièce fabriquée	1
1 défaillance process / 100 pièces fabriquées	0,01
1 défaillance process / 1000 pièces fabriquées	0,001
1 défaillance process / 1 000 000 pièces fabriquées	10^{-6}

Tableau 2.30 : Cotation ppm : grille d'occurrence

Définissons la gravité comme étant le nombre de non-conformes générés par ladite défaillance du processus. Ainsi par exemple :

Gravité	Note
1 non-conforme généré	1
2 non-conformes générés	2
15 non-conformes générés	15

Tableau 2.31 : Cotation ppm : grille de gravité

Ce nombre de non-conforme peut être évalué au pire cas ou au « maximum de vraisemblance ».

Prenons l'exemple d'un processus qui produit 600 pièces à l'heure avec un contrôle toutes les 10 minutes. Au pire, on peut imaginer que la défaillance du processus est arrivée au moment de la production de la première pièce après un contrôle et que le processus a fabriqué des non-conformes jusqu'à ce que l'opérateur s'en rende compte c'est-à-dire au premier contrôle suivant. Ici, le nombre de non-conformes produits au pire cas sera donc de 100.

Cependant, il serait surprenant que toutes les défaillances du processus surviennent simultanément et au moment de la production de la première pièce suivant un contrôle. Ces défaillances pouvant a priori survenir à n'importe quel moment entre les deux contrôles, on peut dire qu'en moyenne, le nombre de non-conformes produits sera égal au nombre de pièces produites entre ces deux contrôles divisé par 2. Ainsi dans notre cas, la note de gravité évaluée au maximum de vraisemblance sera de 50.

Définissons la détection comme étant la probabilité de ne pas détecter la défaillance du processus ou la non-conformité produit avant livraison du produit au client. Ainsi par exemple :

Détection	Note
Pas de détection avant livraison client	1
1 chance sur 2 de ne pas détecter le non-conforme avant livraison client	0,5
1 chance sur 4 de ne pas détecter le non-conforme avant livraison client	0,25

Tableau 2.32 : Cotation ppm : grille de détection

La criticité étant le produit de ces 3 critères, l'équation de dimension nous montre que la criticité est exprimée en **proportion de non-conformes livrés ramenée à la pièce produite** ($C = \text{proba}/\text{pièce produite} * \text{non-conformes} * \text{proba}$).

Ainsi, si le fournisseur s'est engagé contractuellement à ne pas dépasser un taux de non conformes donné, **la somme des criticités** de chacune des lignes de l'AMDEC **ne doit pas dépasser ce taux** ($\Sigma C \leq \text{objectif taux de NC}$).

Dans le cas contraire, l'industrialisateur devra lancer des actions correctives pour réduire ce taux en suivant l'approche de Pareto, c'est-à-dire en s'attaquant en priorité aux anomalies présentant le produit O*G*D le plus élevé.

Par cette approche, on pourra également évaluer le nombre de rebuts, le taux de non-conformes fabriqués étant la somme des produits « occurrence * gravité ».

Le mode de cotation proposé ci-dessus présente donc les intérêts suivant :

- Il permet d'évaluer les criticités tout en s'affranchissant de la définition de grilles de cotation, toujours délicates à établir et parfois à utiliser.
- Il permet d'objectiver le seuil de déclenchement des actions correctives en le plaçant au niveau de l'engagement qualité du fabricant.

A l'inverse, notre méthode présente l'inconvénient qu'une anomalie aura toujours le même poids, qu'elle entraîne une légère gêne client ou le décès de celui-ci.

En choisissant une grille de cotation classique, le groupe de travail a coté notre AMDEC Processus de la façon suivante :

QS		AMDEC Processus : GRILLE D'ANALYSE																			
Processus : Fabrication Référence : ligne 1				Produit : Rasoir Référence : BIC-JET				Pilote : Nicolas S. Date : 1/05/09				Animateur : François F. Indice : A Page :									
DIAGRAMME FLUX : Fabrication rasoir du 1/05/09																					
N°	Opérations (libellé)	PRODUIT Anomalie (libellé)	CLIENT Effets de l'anomalie	CS CC	PROCESSIONS Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance	NOTES prévu / existant			SEUIL DE CRITICITE :			ACTIONS PREVENTIVES / CORRECTIVES			RÉSULTATS espérés				
								O	G	D	C	N°	Responsable	Mesure envisagée	Délai	O	G	D	C		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	Montage impossible en OP 10		Choc avec transpalette	Sensibilisation caristes	Rien	1	4	10	40										
		Transfert mauvaise référence lames	Montage impossible en OP 10		Erreur cariste	Sensibilisation caristes	Autocontrôle bordereau	8	4	6	192										
2	Attente production	Oxydation des lames	Mauvais rasage client		Durée d'attente trop longue	Temps d'attente maxi défini à 12h	Contrôle aspect en 10 à 100%	1	4	1	4										
					Environnement humide			1	4	1	4										
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	Retour client		Erreur monteur	Formation monteur	Contrôle lames en 41	8	6	4	192										
		Lames trop sorties	Risque de coupure à l'utilisation	CC	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41	8	10	1	80										
		lames trop rentrées	Mauvais rasage client		Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41	8	4	1	32										
20	Boutillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	Désolidarisation à l'emploi	CS	Profondeur boutillage trop faible	Rien	Contrôle aspect en 42	6	8	4	192										
		Mauvais positionnement contre-lames	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	Mauvais réglage robot	Rien	Contrôle lames en 41	6	10	4	240										
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	Rasoir inesthétique		Erreur opérateur	Rien	Contrôle aspect en 42	6	3	7	126										
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	Prise de jeu => Inconfort de rasage		Mauvaise fréquence US	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42	2	4	7	56										
		Dégradation aspect tête	Rasoir inesthétique		Pression de soudure trop forte	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42	3	3	7	63										
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	Client floué		Erreur robot	Rien	Rien	1	7	10	70										
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	Recherche cartons dans stock		Erreur cariste	Feuille de stock	Audit '5S'	3	3	8	72										
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	Cartons invendables => Retour usine		Durée de stockage trop longue	Définition temps de stockage maxi et nombre de cartons gerbés maxi	Rien	1	4	10	40										
					Stockage conditions humides			1	4	10	40										
					Gerbage trop nombreux			1	4	10	40										

Tableau 2.33 : Cotation de l'AMDEC Processus de la fabrication du rasoir

Certaines anomalies présentant un niveau de risque (criticité) relativement élevé, il va être nécessaire de prévoir des actions correctives afin de tenter de réduire ces risques.

3.4. AMDEC Processus : Partie actions correctives

La dernière phase de l'AMDEC consiste à imaginer puis à mettre en œuvre des actions correctives pour réduire les criticités des anomalies les plus élevées.

Deux approches s'affrontent pour définir le déclenchement des actions correctives :

- La notion d'amélioration continue, notamment préconisée par le recueil FMEA associé au QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008]. Ici, on ne définit pas de déclenchement mais on s'attaque aux anomalies les unes après les autres en commençant par celle qui présente la criticité la plus élevée, puis pour celle d'après, et ainsi de suite,...) :
- La définition d'un seuil de criticité comme proposé par PSA qui définit sa criticité limite à 36 ou par Renault pour lequel ce seuil dépend de la note de gravité : pour les gravités inférieures ou égales à 7, Renault propose un seuil de déclenchement des actions correctives à 100 ; pour les gravités de 8 et 9, le seuil passe à 50 ; et pour les gravités de 10, le seuil vaut 10. Une telle modulation du seuil de déclenchement des actions correctives est à notre avis très pertinente même si la dernière valeur nous semble exagérée. En effet, mettre un seuil de criticité à 10 pour les gravités de 10 veut dire que pour les anomalies pouvant avoir des répercussions sécuritaires, les valeurs d'occurrence et de détection doivent être à 1, ce qui peut être très délicat à obtenir !

De notre côté, nous préférons utiliser l'approche avec seuil de déclenchement sans toutefois définir la valeur du seuil de criticité de façon dogmatique, mais en positionnant ce seuil à la cassure du Pareto des criticités.

Les Pareto des criticités présentant généralement 3 familles : les très critiques, les moyennement critiques et les faiblement critiques, nous proposons d'adopter l'approche très pragmatique suivante :

- Action corrective obligatoire : pour les criticités les plus élevées (généralement au dessus de 100).
- Action corrective à mettre en œuvre si elle n'est pas chère : pour les criticités moyennes (entre 50 et 100 par exemple)
- Pas d'actions correctives : pour les criticités les plus basses (voire remonter ces niveaux de criticités que l'on pourrait qualifier en « sur-qualité » en baissant sa garde notamment au niveau des détections. Ce dernier point sera développé dans le chapitre 4 « vers une maîtrise de risque efficiente en industrialisation »).

Pour réduire un niveau de criticité, le groupe de travail doit donc trouver une action corrective qui réduira l'occurrence, la gravité ou la détection, et ce de manière unique ou de façon combinée. Ainsi,

- Réduire l'occurrence consiste à reprendre la conception du processus en remplaçant par exemple des opérations manuelles par des opérations automatiques, en mettant en place des maintenances préventives, en maîtrisant les conditions climatiques dans l'atelier (température régulée, etc...).
- Réduire la gravité consisterait à réduire l'impact de l'anomalie sur le client. Or, la fonctionnalité de la pièce étant définie, à chaque fois qu'aura lieu l'anomalie, le client sera impacté de façon identique. Ainsi, en première approche, on peut affirmer qu'il est impossible de modifier la gravité d'une anomalie.
- Pour réduire la note de détection, le groupe de travail devra soit :
 - * Augmenter les fréquences d'échantillonnage.
 - * Changer de processus de contrôle pour réduire son taux de fuite.

D'un point de vue qualité client, peu importe si le groupe décide de réduire prioritairement le critère d'occurrence ou de détection, cependant, en termes de coûts, il est évident que le groupe de travail devra, tant que faire ce peu, tenter de réduire les occurrences afin de limiter le nombre de rebuts fabriqués.

L'action corrective envisagée sera renseignée dans la colonne 15 de notre formalisme, le responsable de ladite action ainsi que le délai alloué seront mentionnés respectivement dans les colonnes 14 et 16.

De façon générale, les actions correctives « miracle », n'existent que très rarement, les industrialisateurs ayant en général, déjà intégré les solutions les plus simples dans leur conception. Les participants à l'analyse n'étant pas tous industrialisateurs et donc pas toujours les plus à même de trouver les actions correctives idoines, nous conseillons de ne pas rechercher les actions correctives en séance AMDEC mais de retourner le résultat de l'analyse quantitative au demandeur de l'AMDEC (défini comme étant le pilote du groupe)

qui lui, pourra reconstituer un groupe de travail le plus adapté pour traiter telle ou telle anomalie.

Après avoir envisagé une action corrective, Il est important que le groupe AMDEC en analyse les répercussions en termes de les risques (il serait dommage que la solution corrective apportée comporte plus de risques que la solution initiale). Les résultats espérés de l'action corrective seront donc réévalués en termes de nouvelle occurrence « O' », de nouvelle gravité « G' » (qui sera toujours, hors exception, égal au G initial) et de nouvelle détection « D' » dans les colonnes 17 à 19, la nouvelle criticité se trouvant calculée dans la colonne 20. Cette nouvelle criticité étant une criticité espérée, elle sera évaluée dès la formalisation sur le papier de l'action corrective pour en évaluer la pertinence. Il s'agit donc là d'une criticité espérée, évaluée avant la mise en œuvre de ladite action, qui devra être validée dans les faits (et donc réévaluée) une fois l'action corrective effectivement mise en œuvre.

Certaines littératures, à l'instar de PSA [PSA, 1999], proposent un autre formalisme appelé suivi des actions correctives, pour renseigner la criticité des défaillances une fois l'action corrective effectivement mise en œuvre. D'autres comme le recueil FMEA associé au QS 9000, proposent une colonne supplémentaire appelée « actions taken » positionnée juste avant la nouvelle cotation :

- si cette colonne demeure vierge, c'est que l'action corrective n'a pas encore été mise en œuvre et donc que la cotation présentée est une cotation espérée.
- Si cette colonne est renseignée, c'est que l'action corrective a été effectivement mise en œuvre, et que la cotation « prime » présentée est une cotation réelle.

De notre côté, nous préférons ne conserver que la cotation espérée. Une fois l'action corrective menée, nous reprenons l'AMDEC en faisant évoluer l'indice du document pour conserver une traçabilité. Les actions correctives se retrouvent alors dans la colonne 7 « action de maîtrise » pour les actions jouant sur l'occurrence, ou dans la colonne 8 « plan de surveillance » pour les actions ayant modifié la note de détection. Le résultat de ces actions en termes de criticité est alors calculé normalement dans la colonne 12, produit des colonnes 9 (occurrence), 10 (gravité) et 11 (détection).

Le résultat de l'AMDEC Processus relative au processus d'élaboration de notre rasoir pourrait alors être le suivant :

AMDEC Processus : GRILLE D'ANALYSE																			
Processus : Fabrication Référence : ligne 1					Produit : Rasoir Référence : BIC-JET					Pilote : Nicolas S. Date : 1/05/09					Animateur : François F. Indice : A Page :				
DIAGRAMME FLUX : Fabrication rasoir du 1/05/09										SEUIL DE CRITICITE :									
PROCESSIONS (N°)	PRODUIT (libellé)	CLIENT Effets de l'anomalie	CS CC	PROCESSUS			NOTES			ACTIONS PREVENTIVES / CORRECTIVES				RESULTATS					
				Causes de l'anomalie	Actions de maîtrise mises en œuvre	Plan de surveillance	prévu / existant	N°	Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	Montage impossible en OP 10		Choc avec transpalette	Sensibilisation caristes	Rien		1	4	10	40							
		Transfert mauvaise référence lames	Montage impossible en OP 10		Erreur cariste	Sensibilisation caristes	Autocontrôle bordereau	8	4	6	192	1	J. François C.	Mise en place d'un contrôleur qualité en début d'atelier	Sem 35	8	4	2	64
2	Attente production	Oxydation des lames	Mauvais rasage client		Durée d'attente trop longue	Temps d'attente maxi défini à 12h	Contrôle aspect en 10 à 100%	1	4	1	4								
					Erivionnement humide			1	4	1	4								
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	Retour client		Erreur monteur	Formation monteur	Contrôle lames en 41	8	6	4	192	2	François B.	Mise en place capteur présence lame	Sem 40	8	6	1	48
		Lames trop sorties	Risque de coupure à l'utilisation	CC	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41	8	10	1	80								
		lames trop rentrées	Mauvais rasage client		Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41	8	4	1	32								
20	Boutillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	Désolidarisation à l'emploi	CS	Profondeur boutillage trop faible	Rien	Contrôle lames en 41	6	8	4	192	3	Ségotène R.	Mise en place butée boutillage	Sem 40	2	8	4	64
		Mauvais positionnement contre-lames	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	Mauvais réglage robot	Rien	Contrôle lames en 41	6	10	4	240	4	Marie-Georges B.	Mise en place d'un gabarit de positionnement contre-lames	Sem 38	2	10	4	80
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	Rasoir inesthétique		Erreur opérateur	Rien	Contrôle aspect en 42	6	3	7	126	5	Olivier B.	Mise en place collage par robot	Sem 40	1	3	7	21
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	Prise de jeu => Inconfort de rasage		Mauvaise fréquence US	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42	2	4	7	56								
		Dégradation aspect tête	Rasoir inesthétique		Pression de soudure trop forte	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42	3	3	7	63								
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	Client floué		Erreur robot	Rien	Rien	1	7	10	70								
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	Recherche cartons dans stock		Erreur cariste	Feuille de stock	Audit "5S"	3	3	8	72								
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	Cartons invendables => Retour usine		Durée de stockage trop longue	Définition temps de stockage maxi et nombre de cartons gérés maxi	Rien	1	4	10	40								
					Stockage conditions humides			1	4	10	40								
					Gerbage trop nombreux			1	4	10	40								

Tableau 2.34 : AMDEC Processus de la fabrication du rasoir

Les actions correctives présentées ci-dessus faisant référence à la mise en place de contrôles supplémentaires, le plan de surveillance prévisionnel devra donc être repris en conséquence pour donner le plan de surveillance définitif, plan qui sera effectivement mis en place dans l'atelier lors du démarrage série :

PLAN DE SURVEILLANCE														
Europe Qualité Services			Produit : Rasoir Référence : BIC-JET				Processus : Fabrication Référence : ligne 1				AMDEC : Processus fabrication Date : 1/05/09		Responsable : Nicolas S. Date : 1/04/09	
N° Opération	Intitulé de l'opération	Caractéristique	Tolérance / limite	CS CC	Responsable du contrôle	Moyen de contrôle	Vérification moyen de contrôle	Opération où est fait le contrôle	Taille du prélèvement	Fréquence du contrôle	Mode opératoire	Mode d'enregistrement	Archivage de l'enregistrement	Action si contrôle non-conforme
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Référence lame	Selon bordereau planning		Cariste	Visuel	Néant	1 : Transfert	100%	100%	Néant	Néant	Néant	Rangement carton lames erroné
					Contrôleur qualité	Visuel	Néant	5 : Contrôle entrée atelier	100%	100%	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3ans	Rangement carton lames erroné
2	Attente production	Oxydation lames	Pas de traces visibles		Monteur lames	Visuel	Néant	10 : Montage lames	100%	100%	Néant	Défauts notés sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
10	Montage lames	Nombre de lames	3		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
					Automate	Capteur présence lame	Passage panoplie défaut 1 / jour	10 : Montage lames	100%	100%	Néant	Néant	Néant	Evacuation des rasoirs NC
		Position des lames	Selon plan	CC	Contrôleur aspect	Gabarit	Vérification dimensionnelle tous les mois	41 : Contrôle taux de sortie lames	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
20	Boutillage contre-lame	Profondeur boutillage	Selon plan	CS	Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
		Position contre-lames	Selon plan	CC	Contrôleur aspect	Gabarit	Vérification dimensionnelle tous les mois	41 : Contrôle taux de sortie lames	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
30	Collage lubrifiant	Position lubrifiant	Selon plan		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
40	Soudage tête sur manche	Positionnement de la tête sur le manche	Selon plan		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
		Dégradations aspect tête	Pas de traces visibles		Contrôleur aspect	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	5 pièces	1fois / heure	Néant	Sur fiche suivieuse du lot	3 ans	Blocage du lot + tri à 100%
44	Mise en stock des cartons	Endroit de rangement	Selon fiche gestion des stocks		Equipe audit 5S	Visuel	Néant	Hors flux	100%	1 fois / trimestre	Questionnaire audit 5S	Sur fiche audit 5S	5 ans	Rangement atelier

Tableau 2.35 : Plan de surveillance définitif du rasoir

Pour une meilleure compréhension du lecteur, nous avons mis en rouge les actions de détections décidées suite à l'AMDEC au titre des actions correctives.

3.5. Mise à jour des AMDEC processus

Une AMDEC Processus n'est jamais figée, elle devra être mise à jour en permanence. Cette mise à jour interviendra :

- A chaque modification de processus, l'AMDEC devant être parfaitement en phase avec le processus tel est prévu ou mis en œuvre à l'instant t.
- A chaque réclamation client, le fabricant devra s'assurer que l'anomalie correspondante a bien été prise en compte. Si tel est le cas, il devra vérifier la cohérence de sa cotation, notamment au niveau de l'occurrence. Dans le cas contraire, Il devra l'intégrer afin d'enrichir son AMDEC, celle-ci devant être la plus exhaustive possible.
- En vie série, afin de s'assurer que les cotations initiales que l'on pourrait qualifier « d'espérées » car cotée en phase industrialisation, sont bien en phase avec la réalité.

Tous ces points démontrent que le suivi des AMDEC doit se faire en continu ou tout au moins tous les x temps ; le x devant être le plus faible possible, tout en restant compatible avec les ressources du fabricant. Une réévaluation annuelle de l'AMDEC nous semble une fréquence raisonnable.

Pour évaluer la pertinence des AMDEC réalisées, Steve POLLOCK [Pollock 2005] propose de calculer le ratio entre le nombre d'anomalies détectées en AMDEC et le nombre de défaillances en retour garantie. En analogie avec la méthodologie six sigma où l'objectif est d'avoir une distance tolérance moyenne supérieur à 6 sigma et donc un indicateur des indicateurs de capacité supérieur à 2 [Harry 1988], POLLOCK pose 2 comme limite inférieure à son ration, l'objectif étant d'identifier le maximum d'anomalies en phase AMDEC pour ne pas les rencontrer en retour garantie.

4. Conclusion du chapitre

Dans ce deuxième chapitre, nous avons décrit la méthodologie classiquement déployée en industrialisation pour maîtriser les risques d'anomalies potentiellement générées lors de la mise en œuvre du processus de fabrication d'un produit. La description de la méthodologie a été ici réalisée de la façon la plus détaillée possible en se reposant sur l'exemple déroulant de la fabrication de notre rasoir jetable afin que le lecteur puisse, s'il le désire, suivre la « procédure » et être à même de mener ses propres analyses, en autonomie, au sein de son entreprise.

Ainsi, ce chapitre commence par une présentation de l'outil « diagramme de flux » dont l'objet est de décrire le flux de production opération par opération, en insistant notamment sur la (ou les) données de sortie attendues à chacune ces opérations élémentaires.

Ce diagramme de flux sert de donnée d'entrée à l'outil AMDEC Processus, dont l'objet des d'analyser l'ensemble des anomalies potentiellement générées, les anomalies étant la non (ou la mauvaise) réalisation des données de sortie relatives à chacune des ces opérations.

L'AMDEC Processus étant l'outil central de la maîtrise de risques en industrialisation, nous nous sommes efforcés d'en préciser les règles d'élaboration et les pièges classiques dans lesquels le néophyte pourrait aisément tomber.

Puis, l'AMDEC ayant pour objet de focaliser l'industrialisateur sur les anomalies les plus critiques, il convient de réaliser au mieux la hiérarchisation de ces anomalies. Aussi, nous avons réalisé une analyse critique des grilles de cotation classiquement proposées notamment par les constructeurs automobile, pour proposer des règles de création de grilles de cotation les plus pertinentes et les plus universelles possible, ainsi que des exemples de grilles correspondantes.

En complément de cette analyse sur les grilles de cotation, nous avons proposé un autre mode de cotation original que nous avons appelé « cotation ppm » dont le résultat n'est plus une criticité mais un taux de non-conformes livrés théorique.

Même si l'approche présentée ici est très efficace, il nous semble néanmoins que des améliorations peuvent être apportées afin de, premièrement gagner du temps dans sa mise en œuvre et, deuxièmement, de générer des plans de surveillance non pas maximaux comme ceux présentés ici mais optimaux, c'est-à-dire construits au juste nécessaire pour en réduire les coûts d'exploitation. Nous renvoyons donc le lecteur au chapitre 4 « vers une maîtrise de risque efficiente en industrialisation » pour une présentation de ces améliorations.

VERS UNE MAITRISE DE RISQUE
EFFICIENTE EN CONCEPTION

« On a déjà pensé à tout ; le
problème est d'y penser de
nouveau. »

Johann Wolfgang von Goethe
1749 - 1832

Vers une maîtrise de risques efficiente en conception

1. Introduction

Les méthodes classiques telles que nous les avons décrites dans le chapitre 1, bien que n'ayant plus à faire leurs preuves en termes d'efficacité, présentent un réel inconvénient : leur chronophagie. En effet, si on se repositionne dans le secteur de la construction de systèmes complexes tels que l'automobile ou l'aéronautique, mettre en œuvre ces techniques de façon complète sur l'ensemble des composants de l'ensemble des strates hiérarchiques constitutives d'un véhicule, générerait un temps d'analyse si long que les véhicules seraient dépassés avant que l'ensemble des technologies mis en œuvre aient pu être analysées. Il en résulterait un blocage de l'ensemble des projets de conception et une impossibilité de mise sur le marché de nouveaux produits. Aussi, il est évident que les groupes d'analyses font des « impasses », priorisant leurs analyses sur ce qui leur semble le plus important. Le problème est que ces impasses sont trop souvent faites au ressenti du chef de projet ou du responsable qualité conception, sans réelle approche méthodologique prédéfinie et sans traçabilité de leur prise de décision.

Les approches que nous présentons dans ce chapitre sont issues du fruit de nombreuses années de réflexions menées au contact d'industriels de secteurs aussi divers que l'automobile, l'électroménager, les équipements pour la maison, et bien d'autres encore. Elles visent à générer une conception permettant de garantir un niveau de qualité des plus élevé tout en restant raisonnablement acceptable pour l'industriel en termes d'heures passées ou de ressources nécessaire.

Sans être révolutionnaires (notre approche suivant globalement le cheminement méthodologique présenté au chapitre 1), notre travail se positionne sur 2 niveaux :

- Tout d'abord au niveau enchaînement des différents outils de base de la sûreté de fonctionnement (analyse fonctionnelle, Analyse Préliminaire de Risque, AMDEC, Arbre de défaillance) par un paramétrage méthodique et argumenté afin de ne passer du temps d'analyse que sur les points jugés nécessaires (fonctions impactant fortement le client et/ou conception présentant un niveau d'innovation important).
- Puis au niveau de mise en œuvre intrinsèque de ces outils par des modifications de la façon de faire ou par des compléments, afin d'en améliorer la performance à iso-coût ou d'en réduire le coût à iso-performance.

2. Procédure de conception sûre et rapide

La méthodologie que nous proposons peut se décliner selon le synoptique ci-dessous :

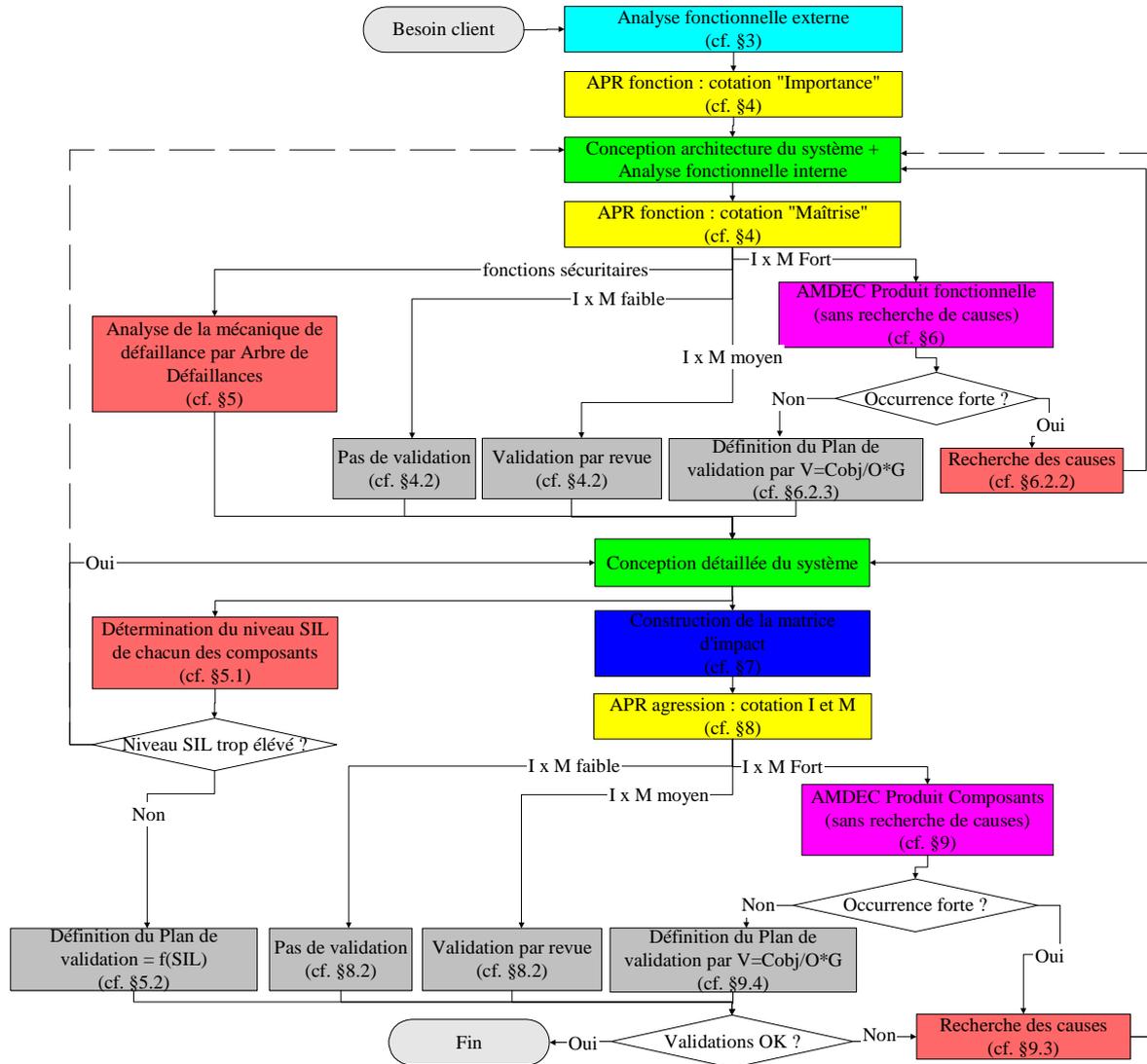


Figure 3.1 : Notre proposition de procédure d'analyse de risque en conception

Chacun des outils représentés ci-dessus par une couleur différente fera l'objet d'un paragraphe spécifique (voir les N° de paragraphe dans le synoptique) mettant en avant les innovations que nous proposons dans leur mise en œuvre.

3. Apport au niveau de l'analyse fonctionnelle

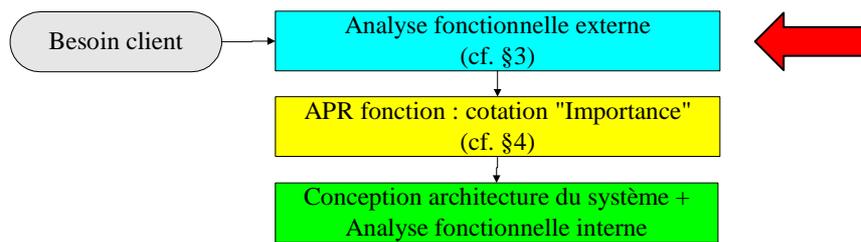


Figure 3.2 : Positionnement du paragraphe

Même si comme l'affirme Jean Claude LIGERON [Ligeron, 2006] « les analyses fonctionnelles sont souvent inexistantes ou bâclées », leur réalisation selon la méthode dite APTE [Bretesch, 2000] telle que nous l'avons présentée au chapitre 1 nous paraît suffisamment aboutie et bien décrite dans les littératures notamment normatives [PSA, 1997] [AFNOR, 2000] [AFNOR 2007]. C'est pourquoi notre contribution théorique sur ce sujet se réduit à une proposition dans la définition des niveaux de flexibilité associés aux critères de performances demandés dans le cahier des charges. Cette proposition ayant été décrite au paragraphe 2.7 du chapitre 1, nous n'irons pas plus loin dans cette partie et invitons lecteur à se reporter au paragraphe susnommé.

4. Amélioration de l'efficacité au niveau de l'APR fonction

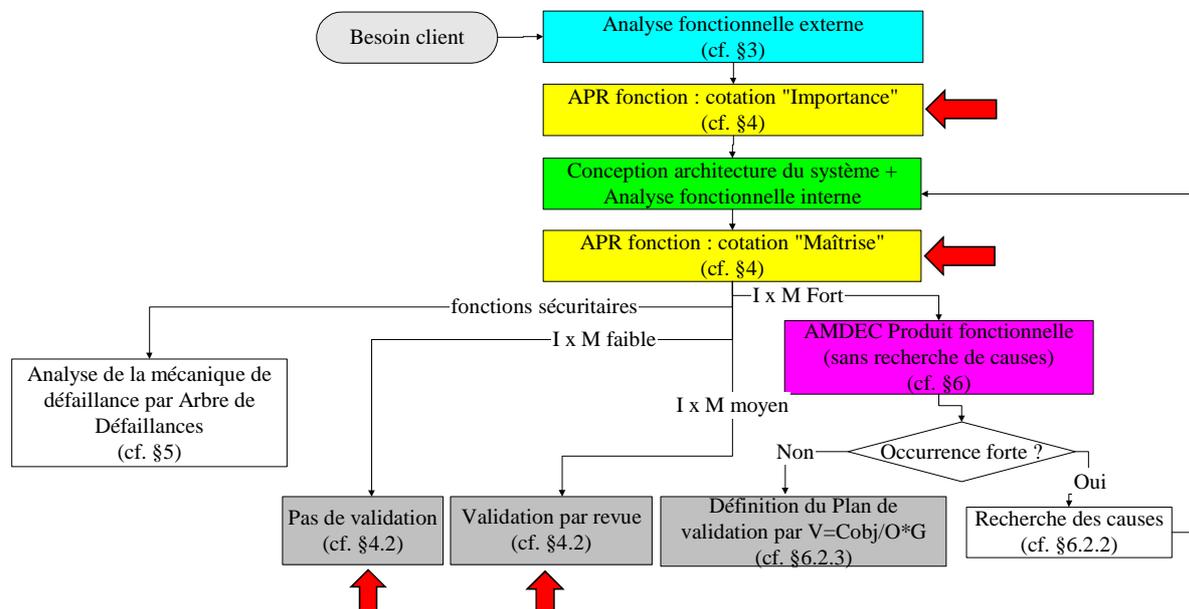


Figure 3.3 : Positionnement du paragraphe

La définition des objectifs de l'APR décrite au paragraphe 3 du chapitre 1 a pu troubler le lecteur par sa ressemblance avec la liste des objectifs de l'AMDEC.

Dans l'approche que nous proposons, à savoir effectuer les analyses de risque à deux niveaux, ces outils se positionnent clairement et leurs objectifs sont bien définis. Ainsi, notre proposition est de mener une première analyse effectuée par la méthodologie APR, peu

détaillée mais totale en terme de couverture ; cette APR servant à paramétrer la seconde, réalisée avec l'outil AMDEC, beaucoup plus profonde en terme d'analyse mais portée uniquement sur les points clefs révélés par la première. Un tel paramétrage du champ d'investigation des AMDEC permet de réduire de façon drastique les temps d'analyse de risque relatifs à un développement système.

En effet, en menant les AMDEC telles que classiquement décrites dans la littérature, c'est-à-dire avec un objectif d'exhaustivité, le groupe de travail passera inutilement du temps à aussi analyser les fonctions connues et maîtrisées depuis longtemps (au niveau de l'approche fonctionnelle) ou à rechercher les défaillances de composants reconduits qui n'ont jusqu'alors posé aucun problème (approche composants).

Sans parler du coût engendré par ces analyses inutiles pour l'entreprise conceptrice, le sentiment d'inutilité ressenti par les membres du groupe peut générer une certaine lassitude, voire aller jusqu'au rejet de ces méthodes, au risque de les voir désertir les séances d'analyse. En ce sens, nous sommes d'accord avec un article de Kara-Zaitri et al [Kara-Zaitri, 1991] où les auteurs précisent que « les AMDEC sont très souvent uniquement utilisées comme des check-lists destinées à satisfaire le management ou les exigences contractuelles de clients ». Dans ce cas, développement et analyse de risque sont déconnectés, forcément au détriment de la qualité du développement [Itabashi, 2008]

Comme précisé en 1988 par Alain VILLEMEUR [Villemeur, 1988], dans son livre intitulé « *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels* », « l'analyse préliminaire de risque permet de définir les entités à analyser en détail ». Aussi, l'utilisation de l'APR pour paramétrer les AMDEC à réaliser n'est pas une innovation en soit. Cependant, c'est plus dans la façon de mener cette APR ainsi que dans la forme que se situe l'originalité de notre proposition.

En effet, la majorité des procédures d'APR, notamment celles ayant cours dans l'industrie automobile française [PSA, 1999], préconisent de rechercher les événements redoutés (effets client final) pour chaque mode de défaillance des fonctions (Absence, Arrêt, Dégradé, Intempestif, Intermittent), de consigner ces éléments dans un tableau, avant d'en évaluer le risque, produit de l'occurrence (probabilité d'apparition du mode de défaillance) et de la gravité (puissance de l'impact dudit mode de défaillance sur le client).

Cette façon de faire, bien que très performante en terme d'analyse de risque (mais quelque peu redondante avec les analyses AMDEC effectuées par la suite), nous semble trop longue pour un simple paramétrage. Aussi, par souci d'efficacité, nous proposons de simplifier l'approche APR en évaluant le risque des fonctions directement à partir de leur libellé, sans passer par l'analyse de leurs différents modes de défaillance.

4.1. Positionnement de chaque fonction dans notre matrice Importance / Maîtrise

Chaque fonction définie par l'analyse fonctionnelle sera positionnée dans une matrice « Importance (I) » / « Maîtrise (M) » (ces noms nous semblent plus parlants que « Gravité » et « Occurrence »), chacun de ces critères étant toujours évalué sur une échelle de 1 à 4.

L'importance de la fonction, positionné sur l'axe des abscisses de notre matrice est évaluée selon la grille de cotation ci-après. Cette grille est directement issue des grilles classiques observées dans les procédures des constructeurs automobiles [PSA, 1999]. Elle est basée sur la puissance de l'impact des défaillances sur le client :

Note	Importance
1	· Fonctions esthétique ou bruyance impactée , l'utilisateur peut continuer à utiliser son système ; il n'y aura pas d'intervention si la défaillance intervient en dehors de la période de garantie .
2	· Fonction secondaire dont la défaillance permet cependant à l'utilisateur de continuer à utiliser son système : une intervention s'imposera mais pas immédiatement .
3	· Fonction primaire dont la défaillance conduit à un arrêt total du système nécessitant une intervention pour le rendre à nouveau utilisable (notion de « panne »).
4	· Fonction sécuritaire dont la défaillance est susceptible d'entraîner des risques de morts ou de dommages corporels pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).

Tableau 3.1: Grille de cotation de l'importance de la fonction

Attention, par système, nous entendons produit final acheté par le client utilisateur et non pas composant vendu à un client intégrateur. Ainsi, si un fournisseur d'autoradio pour automobile imagine son système tomber en panne, l'importance de cette défaillance devra être évaluée de niveau 2 et non de niveau 3 car la panne d'autoradio n'empêche pas l'automobiliste de se déplacer avec son véhicule mais le conduira sûrement à passer voir son garagiste.

Sur le second axe de notre matrice est évalué le niveau de maîtrise de l'entreprise vis-à-vis de la réalisation de la fonction étudiée. Pour évaluer ce niveau de maîtrise, nos réflexions nous ont amenées à une grille inédite, basée sur le niveau d'innovation du système et sur l'impact du nombre potentiel de défaillances sur la santé financière de l'entreprise.

De plus dans cette grille, pour mieux discriminer les différents niveaux en fonction du degré d'innovation, nous dissociions la reprise d'éléments de la reprise de concepts. La reprise d'éléments éprouvés (reprise de plan) dans les mêmes conditions d'utilisations donne a priori une excellente garantie sur l'absence de défaillance de l'ensemble étudié. La reprise d'un concept (par exemple liaison par vis écrou) éprouvé mais avec modification de pièces élémentaires introduit nécessairement un risque plus grand en termes de maîtrise de la fonction.

Note	Niveau de Maîtrise
1	Reprise d'éléments éprouvés en série : => Il est pratiquement impossible que l'événement se produise au cours de la durée de vie de l'ensemble de la population des systèmes
2	Reprise de concepts éprouvés dont les quelques défaillances possibles <i>n'engendreraient pas de pénalisation du marché</i> => Il est possible que quelques systèmes défailent au cours de leur durée de vie
3	Forte modifications de concepts connus => Il est possible qu'une part non négligeable de systèmes présentent une défaillance au cours de leur vie <i>impactant la rentabilité du produit</i> (retours garantie)
4	Conception innovante => Il est possible qu'une majorité de systèmes présentent des défaillances au cours de leur vie <i>engendrant un problème d'image de marque du produit voire de l'entreprise</i>

Tableau 3.2 : Grille de cotation du niveau de maîtrise de la fonction

Pour notre rasoir, le groupe d'analyse a positionné chacune des fonctions de la manière suivante :

N i v e a u d i n n o v a t i o n	Conception innovante				
	Forte modification de concept connu			Fp1 : Permettre à la main de couper les poils	Fc2 : Doit préserver la peau
	Reprise de concepts éprouvés	Fc5 : Doit plaire à l'œil	Fc3 : Doit résister à l'eau / Fc4 : Doit résister à la crème	Fc1 : Doit être préhensible par la main	
	Reprise d'éléments éprouvés en série (et dans les mêmes conditions d'utilisation)		Fp2 : Permettre à la main d'hydrater la peau		
		Fonction esthétique / bruyance	Fonction secondaire	Fonction primaire	Fonction sécurité
Impact client					

Tableau 3.3 : Positionnement de chacune des fonctions du rasoir dans notre grille Importance / maîtrise

D'un point de vue pratique, le groupe d'analyse pourra soit positionner chacune des fonctions dans la matrice Importance / Maîtrise comme montré ci-dessus, soit directement mentionner cette cotation sur le cahier de charges en face du libellé des fonctions afin de limiter les documents connexes.

4.2. Détermination du mode de définition du type de validation

Dans le contexte de mondialisation que nous connaissons aujourd'hui, nombre d'entreprises occidentales mettent sur le marché des produits fabriqués voire conçus tout ou partie par des entreprises sous-traitantes notamment asiatiques. Cependant, ces produits étant proposés sous leur marque, leur responsabilité en cas de défaillance voire de sinistre est clairement engagée comme le stipule la directive 85/374/CEE du Conseil Européen [Conseil européen, 1985] : « Le producteur est responsable du dommage causé par son produit, le terme producteur désignant le fabricant d'un produit fini, le producteur d'une matière première ou le fabricant d'une partie composante, et toute personne qui se présente comme producteur en apposant sur le produit son nom, sa marque ou un autre signe distinctif ».

Il en suit une problématique de validation des conceptions réalisées en interne comme en externe.

Pour valider une conception, plusieurs méthodes coexistent. Ces méthodes peuvent être très simples et très rapides à mettre en œuvre comme la vérification de la copie conforme à des conceptions antérieures. D'autres comme les essais physiques de fiabilité intégrant la variabilité des conditions d'utilisation sont certes très puissantes mais très longues dans leur application. Aussi, pour ne pas passer un temps infini en analyses stériles tout en conservant

un bon niveau de qualité sur le marché, il convient de bien déterminer quel sera le mode de validation le plus approprié à chacune des fonctions.

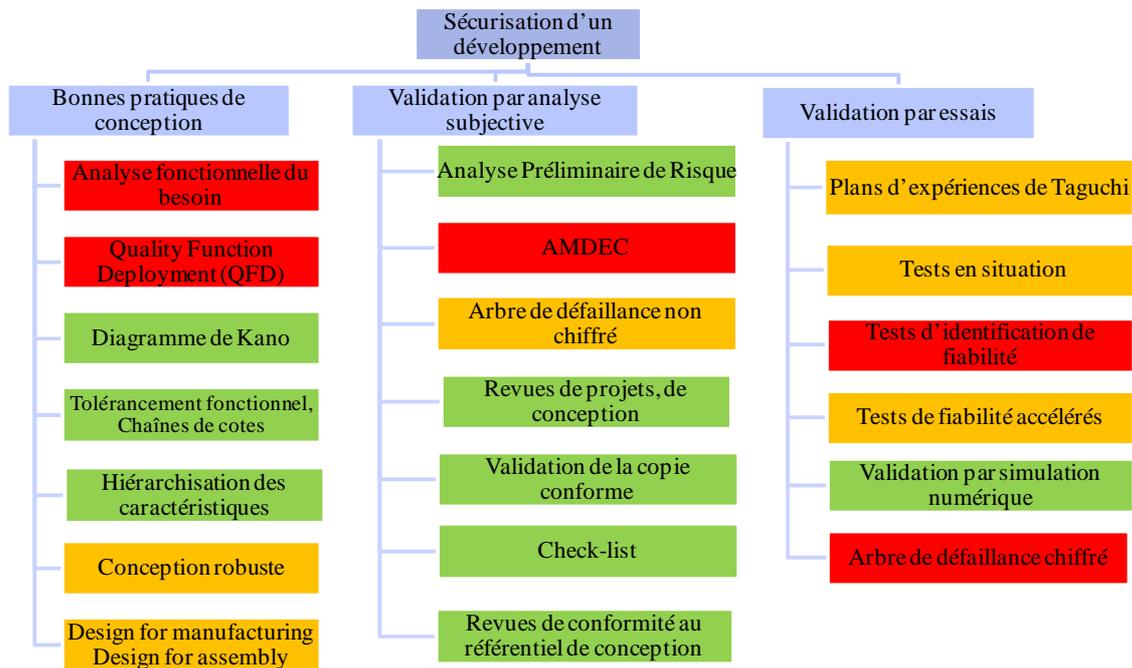


Figure 3.4 : Méthodes et outils de sécurisations d'un développement classés de vert à rouge en fonction du temps nécessaire pour leur mise en œuvre

Le principe utilisé dans notre approche est que tout client, bien que voulant voir le produit qu'il achète conforme à l'ensemble de ses spécifications, sera plus enclin à accepter certains écarts sur les fonctions qu'il juge les moins importantes. Ainsi, des analyses de risque très poussées comme la construction d'arbres de défaillances, devront être réalisées en priorité pour rechercher les causes des défaillances des fonctions à fort impact (panne immobilisante et bien sûr problèmes de sécurité).

De même, pour les fonctions réalisées selon des principes connus et éprouvés depuis longtemps, il ne sera pas nécessaire de mener des analyses très poussées (une simple vérification de la copie conforme peut suffire). A l'inverse, lorsque les fonctions sont réalisées selon des principes très innovants, il convient d'analyser au mieux ces principes, par des AMDEC par exemple, pour limiter au maximum les erreurs de conception.

Fort de ces remarques, nous proposons la grille suivante pour déterminer selon quelle méthode seront définies les démarches de validation à mettre en œuvre au cours du projet :

Matrice de choix des outils de détermination des méthodes de validation					
Niveau d'innovation	Conception innovante	Validations définies par AMDEC produit (approche fonctionnelle)	Validation définie par AMDEC Produit, causes recherchées par Arbre de défaillance	Validation définie par AMDEC Produit, causes recherchées par Arbre de défaillance chiffré	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
	Forte modification de concept connu	Validation par revue de projet avec un expert	Validations définies par AMDEC produit (approche fonctionnelle)	Validation définie par AMDEC Produit, causes recherchées par Arbre de défaillance	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
	Reprise de concepts éprouvés	Rien	Validation par check list de vérification de la conformité au référentiel de conception	Validations définies par AMDEC produit (approche fonctionnelle)	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
	Reprise d'éléments éprouvés en série (et dans les mêmes conditions d'utilisation)	Rien	Rien	Validation par vérification de la copie conforme	Validation par vérification de la copie conforme
		Fonction esthétique / bruyance	Fonction secondaire	Fonction primaire	Fonction sécurité
Impact client					

Tableau 3.4 : Matrice de choix des outils de détermination des méthodes de validation en fonction des niveaux de Maîtrise et d'Importance

La matrice présentée ci-dessus est la synthèse des différentes matrices de ce type que nous avons pu expérimenter dans diverses entreprises de divers secteurs, elle a donc vocation à être utilisable par le plus grand nombre d'entreprises possibles. Cependant, chaque entreprise demeure évidemment libre de l'adapter en fonction de son niveau de maturité dans la maîtrise des outils de la Sûreté de Fonctionnement et de ses spécificités sectorielles propres.

Ainsi, pour notre rasoir, les outils mis en œuvre pour déterminer les modes de validation des différentes fonctions demandées au cahier des charges seront les suivants :

Fonction	Importance "I"	Maîtrise "M"	Outil de détermination du mode de validation à réaliser
FP1 : le rasoir doit permettre à la main de couper les poils	3	3	Validation définie par AMDEC Produit , causes recherchées par Arbre de défaillance
FP2 : le rasoir doit permettre à la main d' hydrater la peau	2	1	Rien
FC1 : le rasoir doit être préhensible par la main	3	2	Validation définie par AMDEC Produit
FC2 : le rasoir doit préserver la peau	4	2	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
FC3 : le rasoir doit résister à l' eau	2	3	Validation par check list de vérification de la conformité au référentiel de conception
FC4 : le rasoir doit résister à la mousse à raser	2	1	Validation par check list de vérification de la conformité au référentiel de conception
FC5 : le rasoir doit plaire à l'œil	1	2	Rien

Tableau 3.5 : Mode de détermination des méthodes de validation de notre rasoir

On remarque donc dans notre exemple que, contrairement aux approches classiques qui demandent une analyse AMDEC pour toutes les fonctions, seules 3 fonctions sur les 7 que comporte notre système feront l'objet d'une analyse poussée par AMDEC ou arbre de défaillance. Les autres ne feront l'objet que d'une validation par revue voire pas de validation du tout.

Il en résulte un gain de temps théorique de $4/7^{\text{ème}}$ soit 57%.

Ainsi, un tel paramétrage, effectué en tout début de projet, permet au concepteur de maintenir ses risques à des niveaux acceptables, tout en réduisant le temps consacré aux analyses. Une telle approche contribue à relever le défi actuel de la réduction des temps de développement couplé à l'accroissement des durées de garantie client, observé notamment dans l'industrie automobile.

La mise en œuvre d'un tel paramétrage dans plusieurs entreprises de différents secteurs d'activité comme l'horlogerie ou les accessoires de maison, a montré la très rapide adhésion des concepteurs à cette approche de hiérarchisation des risques. L'introduction d'une gradation dans les risques permet de mieux faire accepter l'investissement en temps dans des méthodes lourdes comme l'AMDEC lorsque la fonction est consensuellement dans les parties rouges de notre matrice.

5. Notre approche de validation des fonctions de type sécuritaire par arbre de défaillance

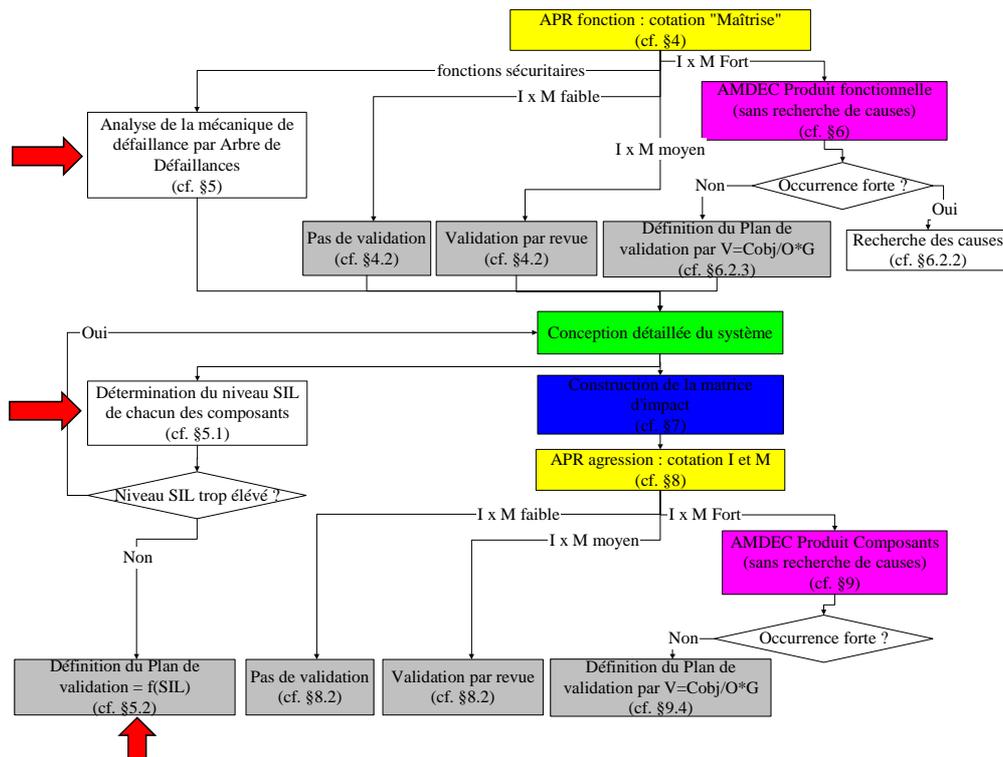


Figure 3.5 : Positionnement du paragraphe

Comme classiquement admis, l'arbre de défaillance, par sa recherche exhaustive des causes racines, constitue l'outil le plus pertinent pour analyser les défaillances pouvant engendrer des problèmes de sécurité. Cependant, comme le précisent Ferdous et al [Ferdous, 2007], cet outil est particulièrement vorace en temps (et donc en argent) notamment dans sa phase quantification. Aussi, plutôt qu'une quantification classique par une approche probabiliste, il nous a paru intéressant de combiner la notion de coupe de l'arbre de défaillance avec l'approche SIL (Safety Integrated Level) de la norme CEI 61508 [CEI, 2005] qui hiérarchise les niveaux de sécurité. La méthode présentée ci-après, par le couplage de ces deux approches, permet de construire un plan de validation pour les défaillances sécuritaires, le plus pertinent possible.

En réalisant l'arbre selon la méthodologie décrite au chapitre 1, le groupe de travail a construit l'arbre suivant pour décrire la mécanique conduisant à la défaillance de la fonction Fc3 : préserver la peau :

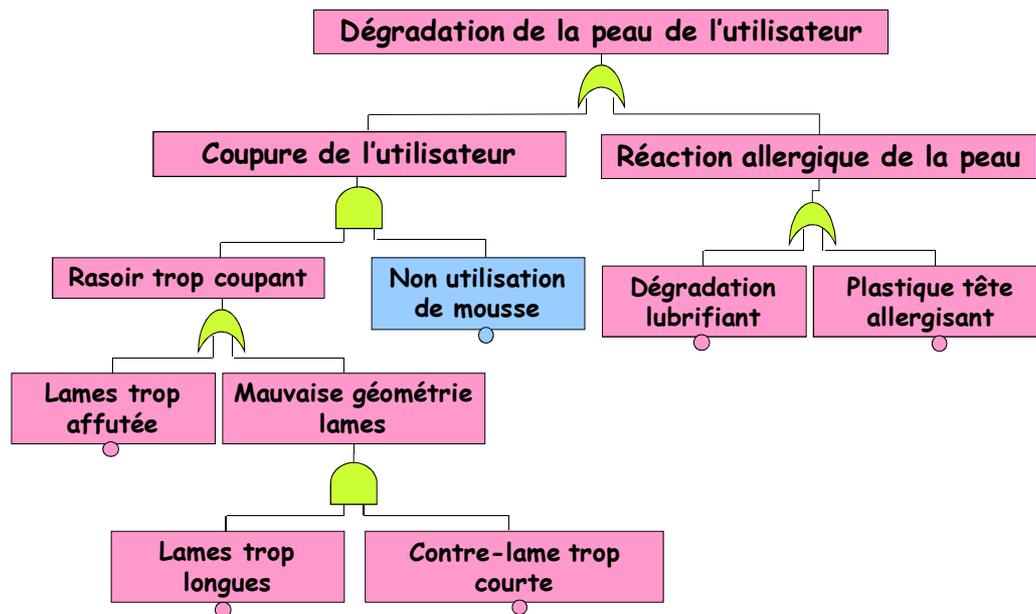


Figure 3.6 : Arbre de défaillance de la fonction Fc3 « préserver la peau » de notre rasoir

On peut noter dans l'arbre ci-dessus que la non-utilisation de mousse n'est pas une défaillance intrinsèque du rasoir mais une mauvaise condition d'utilisation de la part du client. Un tel élément peut figurer dans l'arbre pour montrer la robustesse de la conception aux fausses manœuvres.

La construction d'arbres de défaillance est un très bon moyen pour rechercher les causes d'une défaillance, A ce titre, elle peut se suffire en tant que tel par exemple lors d'une AMDEC Produit (voir le paragraphe correspondant plus loin dans ce chapitre). Cependant, pour les défaillances des fonctions sécuritaires telles que nous les avons définies au paragraphe concernant les Analyses Préliminaires de Risques, nous proposons de poursuivre la construction de l'arbre par une cotation inédite de chacune des racines de l'arbre.

5.1. Détermination du niveau SIL des défaillances racine

Pour chaque défaillance racine, nous proposons d'évaluer une sorte de « criticité » sur une échelle que nous appelons SIL (Safety Integrated Level) en référence à la norme CEI 61508 [CEI, 2005] de sécurité fonctionnelle. Tout comme avec la norme CEI 61508, nos niveaux SIL sont évalués selon quatre critères : la conséquence, la fréquence d'exposition, le signe avant coureur de la défaillance (notion que nous avons substituée au critère de possibilité d'évitement de l'événement dangereux, trop flou aux yeux de bons nombres de groupes d'analyse) et l'occurrence. L'arbre ci-dessous, largement inspiré de la norme permet de définir le niveau SIL :

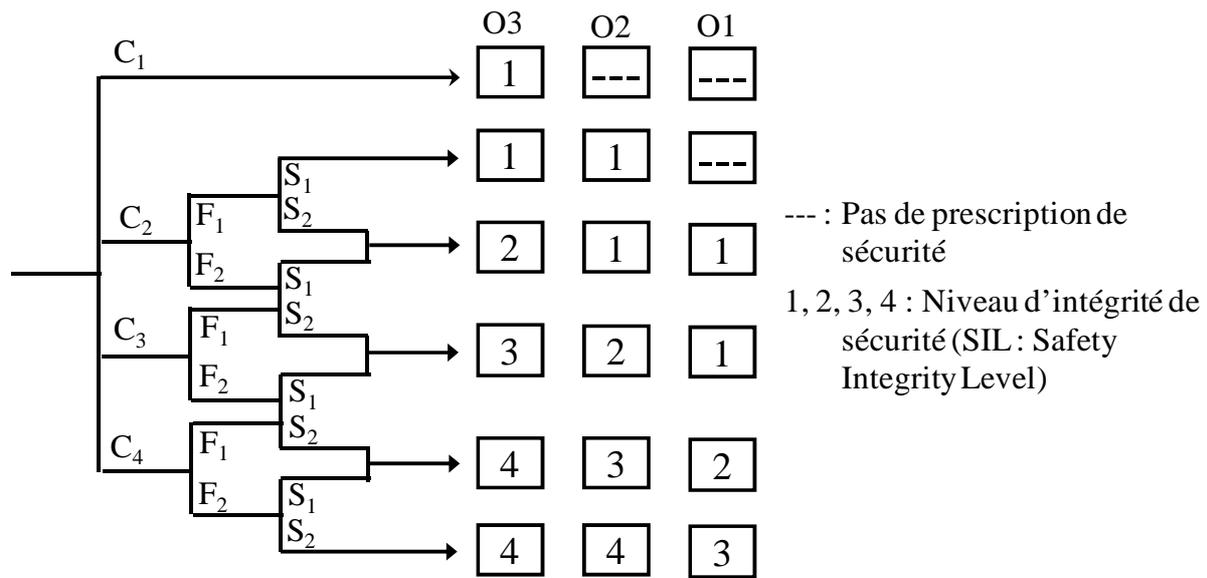


Figure 3.7 : Arbre de définition du niveau SIL issu de la norme CEI 61508

Les critères Conséquence (C), Fréquence d'exposition au danger (F), Signe avant coureur (S) et Occurrence (O) sont évalués à partir de la grille suivante. Cette grille est basée sur les critères proposés par la norme CEI 61508 mais ne reprend pas tout à fait les mêmes niveaux notamment pour le critère Conséquence où la norme va de C1 : « Préjudice mineur » à C4 : « Nombreuses personnes tuées », en passant par C2 : « Préjudice sérieux permanent touchant une ou plusieurs personnes; mortel pour une personne » et C3 : « Mort de plusieurs personnes ». En effet, ces niveaux s'entendent pour l'analyse de très gros systèmes tels une usine chimique ou un avion mais sont complètement inadaptés aux systèmes plus petits.

Conséquence	C1	Préjudice mineur (blessure réversible ne générant pas d'arrêt de travail)
	C2	Préjudice majeur (blessure réversible pouvant générer un arrêt de travail)
	C3	Préjudice sérieux (blessure irréversible)
	C4	Risque de décès
Fréquence et durée d'exposition	F1	Exposition temporaire
	F2	Exposition permanente
Signe avant coureur de la défaillance	S1	Signe avant coureur repérable par la plupart des utilisateurs
	S2	Pas de signe avant coureur (ou signe avant coureur repérable seulement par utilisateur avisé)
Occurrence	O1	Probabilité très faible de défaillance (quelques systèmes potentiellement défaillant sur l'ensemble des systèmes produits)
	O2	Faible probabilité de défaillance (plusieurs systèmes défaillants sur l'ensemble des systèmes produits)
	O3	Forte probabilité de défaillance (nombreux systèmes défaillants)

Tableau 3.6 : Notre grille d'évaluation des niveaux SIL inspirée de la norme CEI 61508

Pour prendre en compte la robustesse de la conception aux défaillances intrinsèques des composants représentée par le niveau de coupe, nous nous sommes donné la règle suivante :

Le niveau SIL d'une cause est réduit de N-1 crans par niveau de coupe

(N=Niveau de coupe = nombre de causes élémentaires nécessaires pour obtenir le sinistre)

Exemple : une défaillance initialement cotée SIL 3 qui amènerait le sinistre par un « ET » (Niveau de coupe 2) serait abaissée d'un niveau pour être cotée SIL 2.

Attention, le « ET » devient « OU » et ne provoque pas une baisse de SIL si :

- Présence d'une défaillance de mode commun. Exemple : panne de batterie qui rendrait les deux phares inopérants.
- Une des défaillances entrant dans le « ET » ne se voit pas en fonctionnement normal faisant que le client continue d'utiliser son système « à moitié défaillant ». Exemple : le conducteur ne se rend pas compte qu'un de ses phares est en panne

Ainsi, dans notre exemple, le groupe d'analyse a évalué chaque défaillance élémentaire selon le niveau suivant :

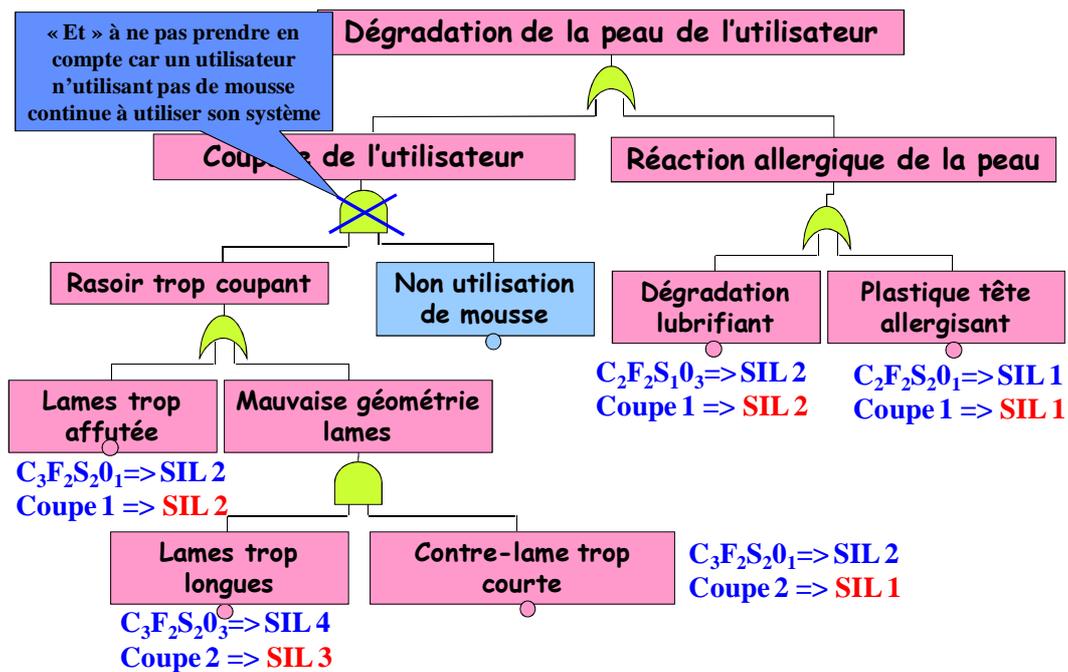


Figure 3.8 : Cotation SIL de l'arbre de défaillance de notre rasoir

5.2. Construction du plan de validation en fonction du niveau SIL des défaillances racine

Conscient que les validations physiques, de par le temps nécessaire à leur réalisation, ne peuvent se faire pour toutes les défaillances, nous proposons de définir le mode de validation de ces défaillances en fonction du niveau SIL grâce au tableau suivant :

SIL	Mode de validation
4	SIL 4 interdit => Modifier l'architecture pour introduire un ET dans l'arbre, ou => Modifier la conception pour baisser le niveau d'occurrence
3	Validation par essais de fiabilité, durée et contraintes augmentées de x% (contraintes recherchées par un P-Diagram)
2	Validation par essais de fiabilité à la durée de vie et contraintes normales
1	Validation par revue

Tableau 3.7 : Détermination du mode de validation en fonction des niveaux SIL

Ainsi, les validations les plus poussées, validations réalisées en augmentant les contraintes, ne seront réalisées que pour les défaillances très « critiques », les moins critiques se limitant à une validation par revue.

De plus, nous avons introduit dans le tableau ci-dessus une interdiction d'avoir un niveau SIL 4 (niveau correspondant à des décès pouvant intervenir fréquemment). Aussi, pour réduire le SIL de ces défaillances élémentaires potentielles, le concepteur devra :

- Soit modifier son architecture pour introduire une redondance ou un protecteur, et ainsi réduire son niveau SIL grâce au niveau de coupe généré par les « ET ».
- Soit reprendre sa conception (changement de matériau, augmentation des sections, etc...) afin d'augmenter sa confiance envers son système et ainsi pouvoir réduire la note d'occurrence et donc le niveau SIL.

Les validations correspondant aux niveaux SIL de notre rasoir peuvent donc se résumer sur le tableau suivant :

PLAN DE VALIDATION									
		Produit : Rasoir			Rédacteur : François F.			Indice : A	
		Référence : BIC-JET			Date : 28/02/2009				
N° action	Composant	Caractéristique	Objectif	Démarche de validation	Conditions du tests	Nb de validations	Phasage de la validation	Responsable	Statut
1	Lames	Affutage	Selon dessin	Essais de fiabilité	- Durée objectif - Contrainte normale	7 systèmes	Phase protos	Labo fabricant lames	
2	Lames	Longueur	Ne dépassant pas contre-lame	Essais de fiabilité	- Durée objectif + 20% - Prise en compte variabilité de production + 20%	7 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
3	Contre-lame	Longueur	Lames non dépassantes	Revue de chaîne de cote		1	Phase protos	Responsable R&D	
4	Lubrifiant	Dégradation	Pas de trace de dégradation	Essais de fiabilité	- Durée objectif - Contrainte normale	7 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
5	Tête	Matériau	Non allergisant	Revue de constituant		1	Phase protos	Responsable matériau	

Tableau 3.8 : Plan de validation des défaillances sécuritaires du rasoir

Nous avons donc ainsi construit le plan de validation correspondant aux défaillances sécuritaires de notre rasoir. Ce plan de validation sera complété des validations correspondant aux autres types de défaillances définies notamment grâce à l'AMDEC Produit.

6. Notre approche de détermination des validations fonctionnelles par l'AMDEC produit (approche fonctionnelle)

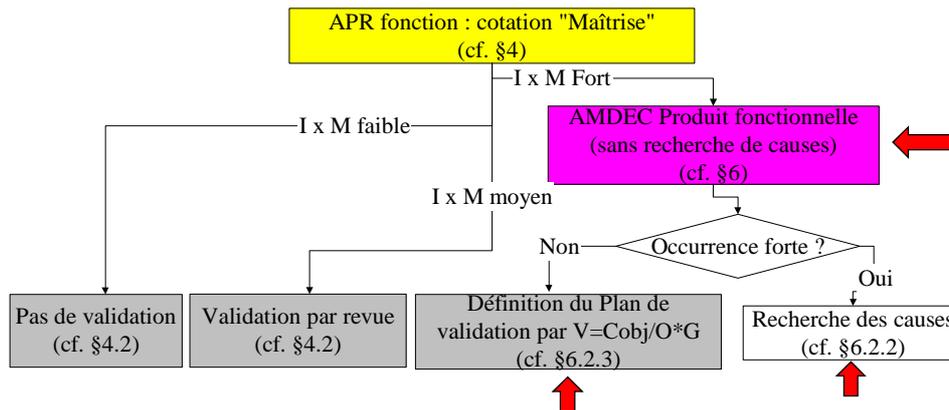


Figure 3.9 : Positionnement du paragraphe

Il est maintenant admis par la plupart des entreprises que l'AMDEC Produit est l'outil d'analyse de risque le plus pertinent en phase de conception. Aussi, L'AMDEC, telle que nous l'avons décrit au chapitre 1, devrait nous permettre de définir avec justesse, l'envergure du plan de validation nécessaire.

Cependant, le calcul de la criticité par la formule $C = O \times G \times V$ pose le plan de validation comme donnée d'entrée de l'AMDEC et non comme donnée de sortie ! Ceci amène à définir préalablement un plan de validation prévisionnel ; puis, si l'AMDEC révèle des manques, de renchérir ce plan de validation de démarches de contrôle supplémentaires. Cette approche séquentielle (Plan de validation prévisionnel → AMDEC Produit → Plan de validation révisé), nous paraît coûteuse et donc peu efficace, car elle engendre à notre avis trois inconvénients majeurs :

- Non primeur des approches de conception robuste sur les actions de validation.
- Sur-validation potentielle, particulièrement chère et anti-flux de développement.
- Perte de temps dans la réalisation des AMDEC par une recherche de causes parfois inutile.

Illustrons nos propos en repartant de l'exemple de l'AMDEC Produit de notre rasoir, réalisée dans son approche fonctionnelle telle que nous l'avons présentée au chapitre 1 :

AMDEC Produit : GRILLE D'ANALYSE																				
Produit : Rasoir		Analyse fonctionnelle				Pilote : Nicolas S.				Animateur : François F.										
Référence : BIC-JET		Date : 14/07/08				Indice : A				Date : 25/12/08				Indice : Page :						
N°	Situation de vie	Fonction	Mode de défaillance	CLIENT		CONCEPTION			NOTES				ACTIONS			RESULTATS				
				Effet de la défaillance	CC CS	Cause de la défaillance	Action de maîtrise	Plan de validation	prévu / existant				Responsable	Mesure envisagée	Délai	espérés				
									O	G	V	C	Qui ?	Fait quoi ?	Pour quand ?	O'	G'	V'	C'	
1	Utilisation	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Client impatient		Définition longueur lame trop courte	Rien	Test sur panel client	7	3	1	21								
2			Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Désagrément du client		Choix matériau tête à coefficient de frottement trop fort	Rien	Test protos sur faux visage	7	5	3	105	Francois H.	Reprise matériau tête éprouvé	SEM 26	3	5	3	45	
3			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client	CS	Choix matériaux lames qui s'use trop vite	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	Revue matériaux	1	8	7	56								
4			Durabilité inférieure à 1 an	Client mécontent => risque perte client	CS	Mauvaise définition du mode de soudage manche / tête qui se désolidarise	Soudage US avec 3 points de fusion	Rien	3	8	10	240	Roseline B.	Test résistance à l'effort de rasage sur protos	sem 28	3	8	3	72	
5		Fp2	Taux d'hommes satisfait du confort de rasage < 90%	Désagrément du client		Usure prématurée de la plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Test sur panel client	1	5	1	5								
6			Fiabilité inférieure à 10 rasage	Client mécontent => risque perte client	CS	Usure prématurée de la plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux	1	8	7	56								
7			Taux d'hygrométrie surfacique de la peau < 85%	Désagrément du client		Mauvais choix de plaquette lubrifiante	Reprise plaquette lubrifiante rasoir non jetable	Revue matériaux	1	5	7	35								
8		Fc1	....	....		...	...								

Tableau 3.9 : AMDEC Produit du rasoir en approche fonctionnelle classique

6.1. Problèmes relatifs à l'approche classique

6.1.1. Problème N°1 : Non primeur des approches de conception robuste sur les actions de validation

Ce problème est illustré par la ligne N°1 de notre exemple.

La question mise en avant par cette ligne est : « Est-il opportun de laisser le concepteur créer des défaillances hautement probables, bien qu'il n'y ait pas de risques pour le client parce que sûrement bloquée par le valideur ».

En effet, pour réduire la criticité d'une défaillance jugée trop importante, le concepteur peut théoriquement jouer sur chacun des critères composant cette variable :

- Réduire la Gravité, puissance de l'impact de la défaillance sur le client, n'est généralement possible que par l'ajout d'un protecteur où par la réduction du champ d'application du système étudié. Ces approches, chères et non satisfaisantes pour le client, ne sont que très rarement possibles à mettre en œuvre.
- Réduire l'Occurrence, ou probabilité d'apparition de la défaillance, n'est généralement envisageable que par la réduction de la complexité du système ou du niveau d'innovation mis en œuvre.
Ce type d'action se traduit forcément par une reconception du produit, solution parfois impossible en fonction du degré d'avancement du projet.
- Réduire la note de Validation revient à valider mieux, ou plus, la solution technologique mise en œuvre, en phase conception.
Ce type d'approche engendre immanquablement des dépenses supplémentaires en termes de moyen de calcul ou d'essai.

Raisonnement sur la criticité, produit des critères d'Occurrence, de Gravité et de Validation ne privilégie, de fait, aucun de ces trois critères. Ainsi les actions de conception robuste (utilisation de briques technologiques préalablement connues ou plus simples) (réduction du critère O), sont jugées d'efficacité égales aux actions de validation et contrôle (réduction du critère V). Ce problème montre que sur les trois axes de la satisfaction du client (conformité, coût, délai), l'AMDEC classique ne travaille que sur l'axe conformité. Ainsi, bloquer une défaillance en phase validation physique, nécessairement en fin de projet, par rapport à concevoir un système à coup sûr fiable dès la phase dessin, pénalise inévitablement les axes temps et coût ; ceci ne peut donc être acceptable qu'à titre exceptionnel.

Partant du postulat que, pour ne pas mettre un produit défaillant sur le marché, il vaut mieux éviter de le concevoir plutôt que de le bloquer lors de démarches de validation générant inévitablement surcoût et retard dans l'avancement du projet, nous proposons de brider systématiquement le concepteur pour l'obliger à privilégier la conception robuste aux actions de contrôle lorsque l'occurrence naturelle de la défaillance est élevée (supérieure à 5 par exemple) ; et de ne conserver les actions de validation que pour réduire les quelques risques résiduels, et ce dans un second temps.

Cette approche signifie, en utilisant les grilles de notation de l'occurrence en fonction du degré d'innovation, qu'il est interdit d'innover significativement sur un projet client. Les innovations devront donc alors être réalisées hors projet, par des équipes généralement dédiées et sur fonds propres, afin de n'apporter aux chefs de projets dédiés client que des solutions techniques validées et « prêtes à l'emploi ». Une telle approche est notamment mise en œuvre par VALEO [Valeo, 1991] dans les projets d'innovations destinées à être mises sur étagère appelés projets P2.

6.1.2. Problème N°2 : Sur-qualité potentielle

Ce problème est illustré par la ligne N°5 de notre exemple.

La ligne N°5 de notre exemple montre une valeur de criticité à 5, obtenue par une Occurrence de 1, une Gravité de 5 et une note de Validation à 1.

Ainsi, notre homme validation a décidé de vérifier de façon infaillible (note de validation à 1) le bon fonctionnement du système, eu égard à une défaillance potentielle pratiquement impossible (occurrence à 1). La démarche de validation ainsi mise en œuvre nécessitant invariablement des moyens en temps et en matériel, le coût et la durée du projet en seront inévitablement impactés, au risque de voir un concurrent sortir un produit similaire plus vite et moins cher, tout en conservant un niveau de qualité comparable. A nos yeux, nous sommes là face à un exemple typique de sur-qualité.

6.1.3. Problème N°3 : Perte de temps dans la réalisation des AMDEC par une recherche de causes parfois inutile

Ce problème est illustré par la ligne N°5 de notre exemple.

A l'analyse de cette ligne, on peut se poser la question suivante : « Est-il intéressant de rechercher les causes d'une défaillance qui n'arrive jamais (ou quasi jamais) ? ».

La réponse est évidemment non. Aussi, nous proposons de limiter la recherche des causes pour les défaillances à occurrence forte (supérieure à 5 par exemple). Cette recherche de

causes, ainsi limitée à un nombre réduit de défaillances, peut être effectuée de la façon la plus poussée qui soit, par un arbre de défaillance par exemple, sans affecter de façon trop pénalisante la durée d'analyse de la conception de notre produit.

6.2. Notre approche pour réaliser les AMDEC Produit

Fort des problèmes énoncés ci-dessus, l'approche que nous proposons vise à rédiger le plan de validation, en simultané avec l'AMDEC Produit, tel qu'il soit dimensionné au juste nécessaire de façon à ce que chaque défaillance potentielle soit traitée à « ISO-Risque ».

Les grandes étapes sont les suivantes :

- Rechercher les modes de défaillances potentiels et leurs effets puis, coter l'occurrence de ces défaillances.
- Rechercher une Action Corrective pour réduire les occurrences les plus fortes.
- Définir le plan de validation nécessaire et suffisant pour obtenir l'objectif de criticité souhaité.

En 2002, nous avons déjà proposé une approche semblable visant à construire le plan de maintenance d'une machine au juste nécessaire [Ozouf, 2002]. Cette approche, déployée dans de nombreuses entreprises a donné des résultats si encourageants que nous la transférons ici à la construction des plans de validation en conception.

6.2.1. Recherche des modes de défaillances potentiels, de leurs effets et coter les critères d'occurrence et de gravité

Comme pour l'AMDEC classique, notre approche démarre par la **recherche des modes de défaillances potentiels** en termes de non-réalisation des critères de performance du cahier des charges puis d'en rechercher les effets sur le client. Dans un premier temps, nous stoppons là l'analyse qualitative pour tout de suite coter les critères d'occurrence et de gravité. Cette cotation se fera selon les grilles classiques telles que présentée au chapitre 1. Le séquençement de l'analyse étant ici modifié par rapport à l'AMDEC classique, nous proposons un nouveau formulaire d'analyse qui modifie l'ordre des colonnes pour le mettre en phase avec notre approche :

AMDEC PRODUIT		Client		Produit		Sous-système		Doc No :									
Pilote		CC : C. Critique		N° AMDEC		Date		Indice :									
Animateur		CS : C. Spéciale		Ind. AMDEC		Seuil d'occurrence		Page : Objectif criticité CS									
SYSTÈME	DESCRIPTION DU DEFAUT			ACTIONS				SURVEILLANCE		Résultat							
N° exigence du CdCf	Fonction	Mode de défaillance Potentiel - O -	Action de maîtrise	O	Effets du mode de défaillance -G-	CC CS	G	Causes du mode de défaillance	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	V cal	Validation -V-	V réel	C	VJ R
LIEN AVEC LE CAHIER DES CHARGES		ANALYSE DES DEFAILLANCES					RECHERCHE DES ACTIONS CORRECTIVES POUR REDUIRE LES OCCURRENCES					DEFINITION DU PLAN DE VALIDATION					

Tableau 3.10 : Proposition de formulaire AMDEC Produit approche fonctionnelle

Ainsi, en reprenant la même analyse que celle qui avait été faite avec l’approche classique, nous obtenons le tableau suivant :

AMDEC PRODUIT		Client		Produit		Sous-système		Doc No :		Form 001								
Pilote : Nicolas S.		Générique		Rasoir BIC-JET		Tous		Indice :		A								
Animateur : François F.		CC : C. Critique CS : C. Spéciale		N° AMDEC : 1 Ind. AMDEC : A		Date : 25/12/08 Seuil d'occurrence :		Page :										
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE		Résultat						
N° exigence du CdCF	Fonction	Mode de défaillance Potentiel -O-	Action de maîtrise	O	Effets du mode de défaillance -G-	G	CC CS	Causes du mode de défaillance	Mesures prises	Déla	Responsable	O'	V cal	Validation -V-	V réel	C	VJR	
1	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Rien	7	Client impatient	3												
2		Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Rien	7	Désagrément du client	5												
3		Fiabilité inférieure à 10 rasage	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	1	Client mécontent => risque perte client	8	CS											
4		Durabilité inférieure à 1 an	Soudage US avec 3 points de fusion	2	Client mécontent => risque perte client	8	CS											
	Fp2	Aucune validation particulière à prévoir																
8	Fc1	Taux d'hommes satisfait du confort de préhension < 90%	Rien	5	Désagrément du client	5												
9		Allergie de la main	Choix d'un caoutchouc autorisé	3	Arrêt maladie du client	10	CC											
	Fc2	Validations définies par arbre de défaillance																
	Fc3 / Fc4	Validation par check list de vérification de la conformité au référentiel de conception																
	Fc5	Aucune validation particulière à prévoir																

Tableau 3.11 : Recherche des modes de défaillances, de leurs effets et cotation associée dans notre formulaire

6.2.2. Recherche des Actions Correctives pour réduire les occurrences les plus élevées

La recherche des causes de défaillance est une étape primordiale pour la bonne maîtrise de la fiabilité du produit ; cependant, elle nécessite généralement de longues analyses pour être pertinente (arbre de défaillance, plan d’expériences, etc.). Aussi, dans un souci d’efficience, il nous semble judicieux de limiter cette recherche de causes aux défaillances qui ont le plus de chances d’arriver. Ainsi, nous proposons de **se fixer un seuil d’occurrence**, à 5 par exemple, à partir duquel il est nécessaire de lancer la recherche des causes.

La mise en œuvre d’un tel seuil sur le paramètre d’occurrence, clef de voûte de notre approche, a deux retombées bénéfiques :

- Premièrement, il force le concepteur à imaginer une solution robuste, et ce dès la conception de son système.
- Deuxièmement, il permet de limiter le nombre et l’ampleur des recherches de causes, opérations toujours chronophages, aux défaillances ayant le plus de chance d’arriver.

Ainsi, pour la première ligne de l’exemple de notre rasoir, l’occurrence d’avoir « un temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm » ayant été cotée à 7, le groupe de travail a initié une recherche de causes pour ce mode de défaillance.

Il en va de même pour la seconde défaillance « Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm » alors que les défaillances suivantes, ayant des occurrences cotées plus faiblement, ne nécessitent pas cette opération.

Selon le paramétrage par l'analyse préliminaire de risque préalablement effectuée, les causes de notre fonction principale 1 doivent être recherchées grâce à l'outil arbre de défaillance.

Les arbres de défaillances correspondant pourraient alors être les suivants (ont été notés en bleu les causes sur lesquelles le groupe de travail a décidé de mettre en œuvre une action corrective) :

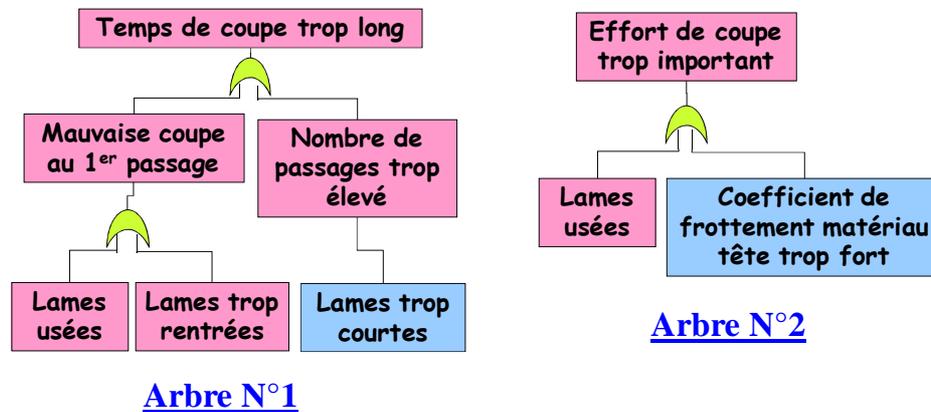


Figure 3.10 : Recherche des causes par arbres de défaillance

Une telle recherche de causes par arbre de défaillance, bien que très performante en termes d'analyse, ne peut évidemment pas, pour des raisons de temps disponible, être menée pour l'ensemble des modes de défaillances analysés lors de l'AMDEC. Aussi, elle doit être limitée :

- Aux analyses portant sur des fonctionnalités primordiales pour le client tel que nous l'avons proposé dans le paragraphe relatif aux analyses préliminaires de risques.
- Aux modes de défaillances ayant une occurrence relativement importante de se produire tel que proposé ci-dessus.

Suite à la recherche de cause, le groupe peut alors rechercher des actions correctives pour réduire les occurrences des modes de défaillances concernés. Pour chaque action définie, un responsable sera désigné ainsi qu'un délai de réalisation accordé, chacun sachant bien que toute action définie sans responsable ni délai a toutes les chances d'être oubliée et donc jamais mise en œuvre.

Pour notre rasoir, les actions correctives destinées à réduire la note d'occurrence des modes de défaillances initialement cotée supérieure à 5 ont été consignées dans le tableau d'analyse tel que présenté ci-dessous :

Q 800	AMDEC PRODUIT	Client		Produit		Sous-système		Doc No :	Form 001								
		Générique		Rasoir BIC-JET		Tous		Indice :	A								
Pilote	Nicolas S.	CC : C. Critique CS : C. Spéciale		N° AMDEC	1	Date	25/12/08 <th>Page :</th> <td></td>	Page :									
Animateur	François F.			Ind. AMDEC	A	Seuil d'occurrence	5	Objectif criticité :									
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE			Résultat				
N° exigence du CdCI	Fonction	Mode de défaillance Potentiel - O -	Action de maîtrise	O	Effets du mode de défaillance -G-	G	CS CC	Causes du mode de défaillance	Mesures prises	Décal	Responsable	O'	V cal	Validation -V-	V réel	C	VJR
1	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Rien	7	Client impatient	3		Voir Arbre de défaillance N°1	Redessin des lames plus longues	Sem 30	Roseline B.	2					
2		Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Rien	7	Désagrément du client	5		Voir Arbre de défaillance N°2	Reprise matériau tête éprouvé	Sem 26	François H.	4					
3		Fiabilité inférieure à 10 rasage	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	1	Client mécontent => risque perte client	8	CS										
4		Durabilité inférieure à 1 an	Soudage US avec 3 points de fusion	2	Client mécontent => risque perte client	8	CS										
5	Fp2	Aucune validation particulière à prévoir															
8	Fc1	Taux d'hommes satisfait du confort de préhension < 90%	Rien	5	Désagrément du client	5		Manche trop "dur"	Couverture du manche par du caoutchouc soft	Sem 30	Roseline B.	2					
		Allergie de la main	Choix d'un caoutchouc autorisé	3	Arrêt maladie du client	10	CC										
	Fc2	Validations définies par arbre de défaillance															
	Fc3 / Fc4	Validation par check list de vérification de la conformité au référentiel de conception															
	Fc5	Aucune validation particulière à prévoir															

Tableau 3.12 : Exemple d'actions correctives après recherche de causes

6.2.3. Définition du plan de validation

Considérant qu'une démarche de validation est nécessairement synonyme de dépenses de temps et d'argent, il nous semble absurde d'investir dans une démarche de validation sur une caractéristique qui n'affecte pas le client (note de gravité faible), ou dans une validation qui répondra par l'affirmative à tous les coups car la caractéristique est parfaitement maîtrisée (note d'occurrence faible).

On voit bien alors qu'il doit y avoir nécessairement un lien entre la note de validation et les notes d'occurrence et gravité. Là où certains auteurs [Carbonne, 2005], se cantonnant à l'approche classique, préconisent de travailler en deux temps :

- Se fixer un premier seuil sur le couple OxG pour tout de suite réduire les occurrences des modes de défaillances les plus impactant.
- Se fixer un second seuil sur la criticité (produit des 3 facteurs occurrence, gravité et validation) pour limiter les risques client.

Nous extrapolons cette approche en cherchant à travailler à « ISO risque » pour tous les modes de défaillances étudiés. Ainsi, nous proposons de calculer le niveau de validation nécessaire et suffisant pour viser un objectif de criticité (100 par exemple tel que classiquement usité dans la littérature) en fonction des notes d'occurrence et de gravité données par le groupe.

Le calcul du niveau de validation se fait donc par la formule :

$$V = \frac{C_{\text{objectif}}}{O \times G} \quad (1)$$

Ainsi, dans l'exemple de notre rasoir, la puissance de validation nécessaire calculée par la relation (1) nous donne les notes de validation suivantes :

Objectif de criticité !

AMDEC PRODUIT		Client		Produit		Sous-système		Doc No : 001									
Pilote : Nicolas S.		Générique		Rasoir BIC-IFA		Tous		Indice : A									
Animateur : François F.		CC : C. Critique CS : C. Spéciale		N° AMDEC : 1		Date : 25/12/08		Page : 1									
				Ind. AMDEC : A		Seuil d'occurrence : 5		Objectif criticité : 100									
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat			
N° exigence du CdCI	Fonction	Mode de défaillance Potentiel - O -	Action de maîtrise	O	Effets du mode de défaillance -G-	G	PS CC	Cause du mode de défaillance	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	V cal	Validation -V-	V réel	C	VJR
1	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de pois < 3 mm	Rien	7	Client impatient	3		Voir Arbre de défaillance N°1	Redessin des lames plus longues	Sem 30	Roseline B.	2	16				
2		Effort de coupe > 20 N pour longueur de pois < 3 mm	Rien	7	Désagrément du client	5		Voir Arbre de défaillance N°2	Reprise matériau tête éprouvé	Sem 26	François H.	4	5				
3		Fiabilité inférieure à 10 rasage	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	1	Client mécontent => risque perte client	8	CS						12				
4		Durabilité inférieure à 1 an	Soudage US avec 3 points de fusion	2	Client mécontent => risque perte client	8	CS						6,2				
5	Fp2	Aucune validation particulière à prévoir															
8	Fc1	Taux d'hommes satisfait du confort de préhension < 90%	Rien	5	Désagrément du client	5		Manche trop "dur"	Couverture du manche par du caoutchouc soft	Sem 30	Roseline B.	2	10				
		Allergie de la main	Choix d'un caoutchouc autorisé	3	Arrêt maladie du client	10	CC						3,3				
	Fc2	Validations définies par arbre de défaillance															
	Fc3 / Fc4	Validation par check list de vérification															
	Fc5	Validation par check list de vérification															

Déterminer le niveau de validation *nécessaire* et *suffisant* pour obtenir un niveau de risque donné par $V=C_{obj}/O \times G$

Tableau 3.13 : Calcul du niveau de validation nécessaire et suffisant

La note de validation calculée, le mode de validation correspondant est alors extrait de la grille de cotation de la validation choisie.

Même si notre approche fonctionne parfaitement avec n'importe quelle grille de cotation de la validation (voir grilles de cotation présentées au chapitre 1) nous préconisons l'utilisation de la grille suivante basée sur une approche type matrice QA de RENAULT [Renault 2001] où la validation est d'autant plus efficace qu'il y a redondance dans les modes de validation mis en œuvre (validations faites de plusieurs manières différentes et à différents instants dans le projet).

Le principe de cette grille est de calculer un nombre de points correspondant au nombre de modes de validation mise en œuvre durant le projet, pondéré par le poids attribué à chaque type de validation. La note de validation de l'AMDEC étant attribuée en fonction du nombre de points obtenus.

Mode de validation	Points	Σ des points	Note
Revue de Validation	1 point	0	10
Calculs prévisionnel avec faible coefficient de sécurité ou hypothèses non sûres	2 points	0 < Σ des points ≤ 2	8
Test protos sur banc en conditions nominales	4 points	2 < Σ des points ≤ 6	6
Calculs prévisionnel avec fort coefficient de sécurité ou hypothèses sûres	6 points	6 < Σ des points ≤ 10	4
Test protos sur banc intégrant les variabilités de production et de conditions d'utilisation recherchée par un P-Diagramm	8 points	10 < Σ des points ≤ 15	2
Endurance "produits pré-série" par panel client	10 points	Σ des points > 15	1

Tableau 3.14 : Proposition grille de cotation de la validation

Cependant, notre approche étant inversée par rapport à l'approche classique, charge au responsable validation de définir la séquence de validations qui donnera le nombre de points correspondant à la note AMDEC recherchée.

Ainsi, dans notre exemple, pour valider l'effort de coupe inférieur à 20 N, la note AMDEC recherchée est de 4 (première note de la grille immédiatement inférieure à la valeur calculée). Pour obtenir cette note, le valideur a décidé d'associer une revue de validation effectuée sur plan qui rapporte 1 point, à des tests prototype sur banc intégrant les variabilités de production et d'utilisation rapportant 6 points. Le cumul de ces deux validations apporte donc 7 points correspondant à la note de 4 recherchée.

Ces informations sont alors consignées dans le tableau AMDEC comme présenté ci-après :

BOS		AMDEC PRODUIT		Client		Produit		Sous-système		Doc No :		Form 001					
Pilote		Nicolas S.		Générique		Rasoir BIC-JET		Tous		Indice :		A					
Animateur		François F.		CC : C. Critique		N° AMDEC		Date		Page :							
				CS : C. Spéciale		Ind. AMDEC		Seuil d'occurrence		Objectif criticité :		100					
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat			
N° exigence du CdCf	Fonction	Mode de défaillance Potentiel - O -	Action de maîtrise	O	Effets du mode de défaillance -G-	G	CS CC	Causes du mode de défaillance	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	V cal	Validation -V-	V réel	C	VJR
1	Fp1	Temps coupe > 5 min pour gauchers ayant une longueur de poils < 3 mm	Rien	7	Client impatient	3		Voir Arbre de défaillance N°1	Redessin des lames plus longues	Sem 30	Roseline B.	2	16,7	Rien	10	60	v
2		Effort de coupe > 20 N pour longueur de poils < 3 mm	Rien	7	Désagrément du client	5		Voir Arbre de défaillance N°2	Reprise matériau tête éprouvé	Sem 26	François H.	4	5	Validation par revue + tests prototype sur banc intégrant les variabilités de production et d'utilisation (7 points)	4	80	j
3		Fiabilité inférieure à 10 rasage	Reprise matériau lames du rasoir 1 lame	1	Client mécontent => risque perte client	8	CS						12,5	Rien	10	80	j
4		Durabilité inférieure à 1 an	Soudage US avec 3 points de fusion	2	Client mécontent => risque perte client	8	CS						6,25	Tests prototypes sur banc en conditions nominales (4 points)	6	96	j
5	Fp2	Aucune validation particulière à prévoir															
8	Fc1	Taux d'hommes satisfait du confort de préhension < 90%	Rien	5	Désagrément du client	5		Manche trop "dur"	Couverture du manche par du caoutchouc soft	Sem 30	Roseline B.	2	10	Rien	10	100	j
		Allergie de la main	Choix d'un caoutchouc autorisé	3	Arrêt maladie du client	10	CC						3,33	Validation par revue + endurance par panel client (11 points)	2	60	v
	Fc2	Validations définies par arbre de défaillance															
	Fc3 / Fc4	Validation par check list de vérification de la conformité au référentiel de conception															
	Fc5	Aucune validation particulière à prévoir															

Tableau 3.15 : AMDEC Fonctionnelle complète du rasoir effectuée selon notre approche

Comme on peut le remarquer sur notre formulaire, la note de criticité finale est recalculée en fonction du niveau de validation réellement appliqué et un petit indicateur visuel (Vert, Jaune, Rouge) s’affiche en bout de ligne selon les règles suivantes :

- Rouge : Criticité obtenue supérieure à la criticité objectif.
- Jaune : Criticité obtenue comprise entre la criticité objectif et 80% de cette valeur.
- Vert : Criticité obtenue inférieure à 80% de la criticité objectif.

Les validations ainsi déterminées sont alors renseignées dans le plan de validation fonctionnel tel que présenté ci-dessous :

PLAN DE VALIDATION FONCTIONNEL								
	Produit : Rasoir			Rédacteur : François F.		Indice : A		
	Référence : BIC-JET			Date : 01/04/2009				
N° action	Critère	Objectif	Démarche de validation	Conditions du tests	Nb de validations	Phasage de la validation	Responsable	Statut
1	Effort de coupe	< 20 N	Revue de design		1 revue	Phase design	Responsable R&D	
			Essais de robustesse sur banc	- Poils 1 mm à 3 mm - Lames neuves et usées - Densité 10 à 100 poils / cm ² - Peaux type européen, asiatique - Vitesse de rasage de 0,3 à 3 m/min - Angle tête-lames : 30 et 60° - Lames Inox + acier -Taux de sortie lames : 1/10e et 3/10e	30 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
2	Durabilité	> 1 an	Essais de fiabilité	- Longueur Poils : 3 mm - Densité 50 poils / cm ² - Peau type européen - Vitesse de rasage 1 m/min	7	Phase protos	Labo EQS	
3	Allergies	aucune	Revue de matériau		1 revue	Phase design	Responsable R&D	
			Panel client	- Peaux type européen, asiatique, africain, latino-américain	30 systèmes	Phase protos	Institut statistique	

Tableau 3.16 : Plan de validation fonctionnel du rasoir construit suite à notre AMDEC Fonctionnelle

Le plan de validation fonctionnel est ainsi construit, au juste nécessaire !

Au niveau de la validation de l’effort de coupe, il a été défini de monter un test sur prototype prenant en compte l’ensemble des variabilités de production comme d’utilisation. Pour cela, le groupe de travail a dessiné un P-Diagram.

Le P-Diagram a été proposé en 1989 par le docteur Madhav S. PHADKE [Phadke, 1989] dans son livre « Quality Engineering Using Robust Design », il est maintenant repris dans le recueil FMEA du QS 9000 [Chrysler, Ford, GM, 2008] comme aide à la recherche des paramètres influent sur une caractéristique donnée. Comme le montre le schéma ci-dessous, le P-Diagram est une représentation schématique des différents facteurs qui peuvent générer des variations sur la réponse mesurée d’un produit (output) :

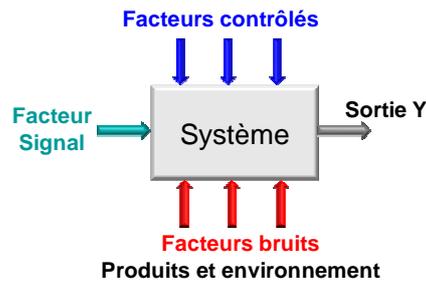


Figure 3.11 : Représentation d'un P-Diagramme

Selon TAGUCHI [Taguchi, 1987], les facteurs pouvant impacter la performance d'un système peuvent être classés en trois catégories :

- Les facteurs signal (inputs). Ils correspondent aux entrées du système. Dans le cas de notre rasoir, cela pourrait être le mouvement du rasoir sur le visage donné par la main.
- Les facteurs de contrôle. En conception système, les facteurs de contrôle constituent les points clé de conception dont on sait pertinemment en quoi ils jouent sur la performance du système. Pour notre rasoir, la nature du matériau des lames, la géométrie des lames par rapport à la tête, etc. constituent des facteurs de contrôle.
- Les facteurs de bruit. Ce sont des facteurs que l'on ne peut régler pour des raisons techniques ou de coût ; pourtant, en variant, ils peuvent affecter la performance de la caractéristique de sortie Y. Dans sa thèse, Sylvain ROCHON [Rochon, 1996] classe les facteurs de bruit en trois classes :
 - * Les facteurs bruits externes, liés aux variations des conditions d'environnement. Pour notre rasoir, la variabilité de la force exercée par la main de l'utilisateur sur le rasoir serait classée dans cette catégorie.
 - * Les facteurs bruits internes, générés par la détérioration des composants du système (rouille ou usure des lames par exemple).
 - * Les facteurs bruits entre produits, dus notamment à la variation des composants du fait des dispersions liées à la fabrication (variabilité de la proportion de sortie des lames par rapport à la tête engendrée par le montage).

Pour y remédier aux impacts néfastes de la variabilité des facteurs de bruit, TAGUCHI [Taguchi, 2000] a introduit la notion de robustesse qui caractérise la sensibilité du système à ces facteurs bruits. L'ingénierie robuste [Fowlkes, 1998] consiste donc à optimiser le réglage des facteurs de contrôle de telle sorte qu'ils limitent au mieux l'impact des facteurs bruits.

Imaginons par exemple une réponse Y (l'effort de coupe par exemple) qui réagit selon la loi décrite ci-dessous au réglage du facteur X (proportion de sortie des lames par rapport à la tête par exemple) :

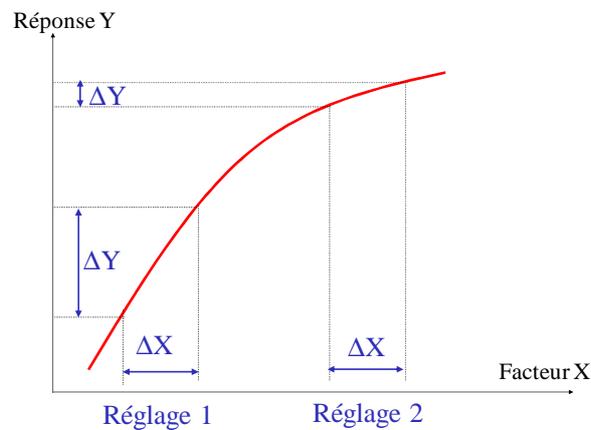


Figure 3.12 : Prise en compte de la robustesse en conception

Dans ce cas, le concepteur aura tout intérêt à régler le facteur X position 2 car le produit sera alors beaucoup plus robuste à la variation de ce facteur autour de sa position (variations de montage par exemple).

Ainsi, le groupe a dessiné le P-Diagram suivant :

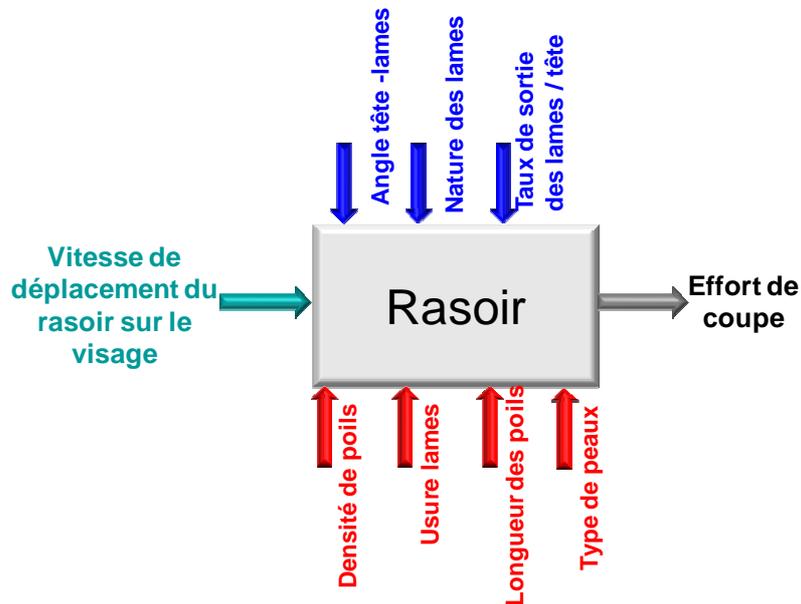


Figure 3.13 : P-Diagramme correspondant à l'exigence « effort de coupe » du rasoir

Ce schéma a permis au responsable du laboratoire d'essai de construire un plan de robustesse (plan produit au sens de TAGUCHI). Dans ce plan, notre technicien a mixé un premier plan d'expériences avec les facteurs de contrôle et un second plan avec les facteurs bruit, la réponse étant l'effort de coupe (un facteur composé appelé « poils », constitué de

la densité des poils et de la longueur des poils, a été utilisé pour réduire la taille du plan d'expérience). Le tableau ci-après montre la construction de ce plan :

Essai	Vitesse rasage	Angle Tête / lame	Nature lames	Taux sortie lames	Répétition				Moyennes	Variances	S/N
					Poils Usure lame Type peau	1	2	3				4
					S1 neuve europ	S1 usée asie	S2 neuve asie	S2 usée europ			
1	Lent	30 °	Inox	3/10e	28	27	28	27	27,5	0,33	-28,79
2	Lent	30 °	Acier	1/10e	35	26	27	32	30	18,00	-29,63
3	Lent	60 °	Inox	1/10e	33	23	18	35	27,25	65,58	-29,07
4	Lent	60 °	Acier	3/10e	40	24	25	39	32	75,33	-30,41
5	Rapide	30 °	Inox	1/10e.	35	28	26	37	31,5	28,33	-30,09
6	Rapide	30 °	Acier	3/10e	41	35	34	40	37,5	12,33	-31,52
7	Rapide	60 °	Inox	3/10e	48	30	31	47	39	96,67	-32,09
8	Rapide	60 °	Acier	1/10e	43	31	30	41	36,25	44,92	-31,33

Tableau 3.17 : plan produit mené sur la caractéristique « effort de coupe »

Conformément à la théorie des plans produit [Pillet, 1997], la moyenne et la variance ont été calculée pour chaque essai du plan principal (plan sur les facteurs de contrôle). La configuration pour laquelle la moyenne sera la plus basse (effort de coupe le plus faible) et la variance la plus faible (non sensibilité aux facteurs de bruit) sera retenue.

Cependant, on se rend compte que le choix n'est pas toujours trivial. En effet, l'essai N°3 donne une configuration pour laquelle la moyenne est la plus basse (effort de coupe minimum) alors que c'est l'essai N°1 qui a la variance la plus faible (meilleure robustesse aux facteurs de bruit).

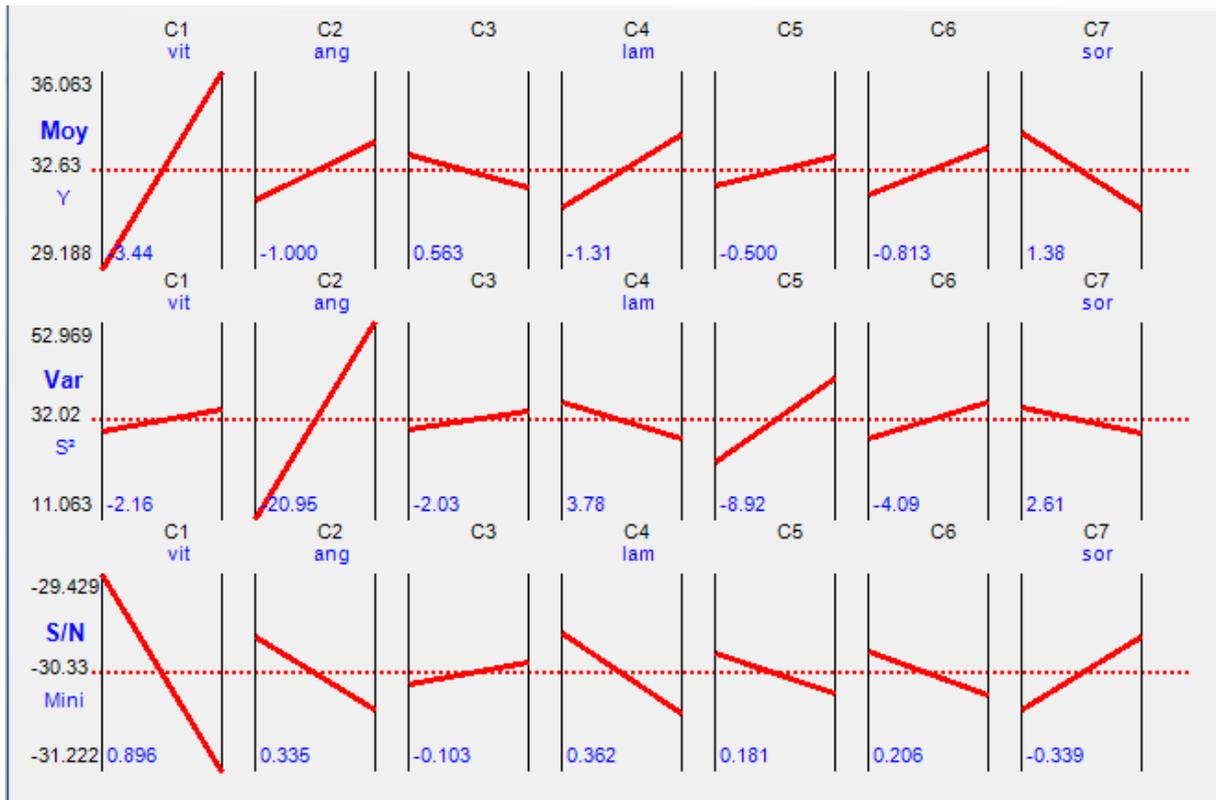
Pour aider l'expérimentateur, TAGUCHI a introduit l'indicateur « rapport signal/bruit » (colonne S/N), la meilleure configuration étant celle qui amène le rapport signal bruit le plus élevé. Même si depuis TAGUCHI, de nombreuses lois ont été testées pour comparer la meilleure robustesse d'une situation [Pierreval, 2007], nous resterons ici sur la définition du rapport signal / bruit originelle proposée par TAGUCHI qui se calcule de la façon suivante :

Situation	Rapport Signal / Bruit
Recherche d'un nominal	$-10\log\left[(\bar{Y}-\text{cible})^2+\sigma^2\right]$ ou $10\log\left[\frac{\bar{Y}^2}{\sigma^2}\right]$
Recherche d'un minimum	$-10\log(\bar{Y}^2+\sigma^2)$
Recherche d'un maximum	$-10\log\left[\frac{1}{\bar{Y}^2}\left(1+3\frac{\sigma^2}{\bar{Y}^2}\right)\right]$

Tableau 3.18 : Formules de calcul du rapport signal / bruit d'après G. TAGUCHI

Dans notre cas, l'objectif étant de réduire l'effort de coupe, le rapport signal/bruit a été calculé selon la situation « recherche d'un minimum ».

Le graphe des effets sur les réponses moyennes (moy), variances (var) et rapport signal / bruit (S/N) est le suivant :



La configuration la plus robuste étant celle qui présente le rapport signal/bruit le plus élevé, Le concepteur devra dessiner son rasoir de telle sorte que l'angle tête-lames soit de 30°, choisir des lames en inox sorties de 1/10^e de mm par rapport à la tête, et noter dans la notice d'utilisation que l'on obtient un meilleur rasage en se rasant lentement.

On remarquera que le plan d'expérience étant fractionnaire, cette configuration n'a pas été testée dans le plan d'expériences (cependant, l'utilisation du modèle issu de ce plan permet de prévoir un effort moyen de coupe de 27,9 avec un écart type de 5,8 ce qui donne un rapport signal / bruit (S/N) de -28,4).

7. Détermination de la relation fonction / caractéristique par la matrice d'impact

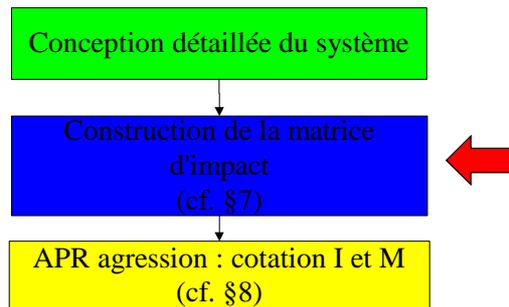


Figure 3.14 : Positionnement du paragraphe

L'impact d'une caractéristique produit (une cote par exemple) sur les fonctionnalités attendues du système n'est pas toujours a priori évident, notamment lorsque les équipes de conception sont conséquentes et où chaque concepteur n'a qu'une vision parcellaire du système.

Pour formaliser les liens existants entre les caractéristiques des composants et les fonctionnalités système, nous proposons un outil que nous appelons « matrice d'impact », largement inspiré de la seconde maison du QFD (pour Quality Function Deployment, aussi appelé « maisons de la qualité », développé en 1966 par Dr. Yoji Akao [Akao, 1994]).

Dans notre approche, nous préconisons de mettre en œuvre cet outil dès la conception détaillée de la state étudiée du système, c'est-à-dire lorsque :

- Dans le cadre de composants achetés (niveaux N-1 du découpage PBS), l'ensemble des spécifications fonctionnelles de l'ensemble des composants ont été écrites.
- Dans le cadre de composants dessinés en interne, l'ensemble des caractéristiques ont été cotées.

Dans cette matrice, les fonctionnalités attendues du système, issues du cahier des charges fonctionnel construit suite à l'analyse fonctionnelle (voir chapitre 1), sont notées en colonnes. Les caractéristiques des composants, issues des dessins de définition de ces composants, sont quant à elles listées en ligne.

Au croisement des lignes et des colonnes, dans une approche « quoi / comment », nous demandons au groupe de travail d'évaluer la contribution de la caractéristique du composant (en ligne) sur la fonctionnalité étudiée (en colonne). Contrairement au QFD où ces contributions sont classiquement renseignées par des notes (1 pour contribution faible, 3 pour contribution modérée et 9 pour une forte contribution), nous évaluons cette contribution directement en pourcentage.

Afin d'aider le groupe à déterminer ces pourcentages de contribution, nous avons déterminé une série de règles selon que l'on connaisse la loi mathématique reliant la caractéristique du composant à la fonction impactée ou pas.

7.1. Cas où on dispose d'une relation $Y = f(x_1, \dots, x_k)$ connue

Dans le cas où on dispose d'une relation $Y = f(x_1, \dots, x_k)$ connue que nous supposons ici linéaire du type $Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_i x_i$, comme par exemple dans le cas où une fonctionnalité Y est donnée par une chaîne de cotes, les contributions seront calculées différemment selon que le tolérancement ait été fait de façon statistique ou au pire cas.

7.1.1. Calcul des contributions dans le cas d'un tolérancement statistique

Selon la norme XP E 04-008 [Afnor, 2009], lorsqu'on réalise un tolérancement statistique, chaque caractéristique entrant dans la relation reçoit l'intervalle de tolérances suivant :

$$IT_j = \beta_j \frac{IT_{EF}}{\sqrt{\sum_j \alpha_i^2 \beta_j^2}}$$

Avec β_j pondération de faisabilité, valeur positive associée à une caractéristique fonctionnelle élémentaire et proportionnelle à sa dispersion de fabrication prévisionnelle comparativement aux autres caractéristiques.

Dans ce cas, la contribution de la caractéristique j est donnée par la formule suivante :

$$Contribution = \frac{\beta_j}{\sqrt{\sum_j \alpha_i^2 \beta_j^2}}$$

Exemple :

Si deux caractéristiques X_1 et X_2 interviennent de façon égale dans une chaîne de cotes $Y = x_1 - x_2$.

Les pondérations de faisabilité étant identiques ($\beta = 1$), leur pourcentage de contribution sur la fonctionnalité Y vaudra :

$$Contribution = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 = 70\%$$

D'une façon générale, si on a k cotes dans une chaîne de cote linéaire avec des pondérations de faisabilité à 1 (cas classique) tolérancée de façon statistique, les contributions de chacune des cotes sont égales à $\frac{1}{\sqrt{k}}$.

Dans ce cas, la somme des contributions des caractéristiques sur une fonctionnalité donnée pourra dépasser les 100%.

7.1.2. Calcul des contributions dans le cas d'un tolérancement au pire cas

Dans la configuration d'un tolérancement au pire cas, la norme XP E 04-008 [Afnor, 2009] donne un intervalle de tolérance pour chaque caractéristique entrant dans la relation de la forme :

$$IT_j = \beta_j \frac{IT_{EF}}{\sum_j |\alpha_j| \beta_j}$$

Dans ce cas, la contribution de la caractéristique j est donnée par la formule suivante :

$$\text{Contribution} = \frac{\beta_j}{\sum_j |\alpha_j| \beta_j}$$

Exemple :

Si nos deux caractéristiques X_1 et X_2 interviennent de façon égale dans une chaîne de cotes $Y = x_1 - x_2$, leur pourcentage de contribution sur la fonctionnalité Y vaudra :

$$\text{Contribution} = \frac{1}{2} = 0.5 = 50\%$$

D'une façon générale, si on a k cotes dans une chaîne de cote linéaire avec des pondérations de faisabilité à 1 (cas classique), tolérancée au pire cas, les contributions de chacune des cotes sont égales à $\frac{1}{k}$.

Dans ce cas, la somme des contributions des caractéristiques sur une fonctionnalité donnée donnera obligatoirement 100%.

7.2. Cas où on ne dispose pas d'une relation $Y = f(x_1, \dots, x_k)$ connue

Dans le cas où on ne dispose pas d'une relation $Y = f(x_1, \dots, x_k)$ connue comme par exemple pour évaluer l'impact d'une couleur et d'une brillance sur un esthétisme, les pourcentages seront évalués de façon subjective par le groupe de travail.

Pour aider le groupe de travail à faire son évaluation et ainsi en limiter la variabilité, nous préconisons l'utilisation d'une grille de cotation qui fixe des valeurs repère de contributions selon l'impact supposé de la caractéristique. La grille que nous proposons ci-dessous a quatre niveaux 1, 4, 7, 10 comme classiquement utilisé en AMDEC, cependant, libre au groupe de travail d'adapter les pourcentages au cas par cas :

Contribution	Impact	Exemple
100%	La défaillance de la caractéristique élémentaire entraînera à coup sûr la défaillance de la fonctionnalité	Impact d'une marque sur une fonction esthétique : La présence d'une marque seule rend la fonction KO, l'impact est de 100%
70%	La défaillance de la caractéristique entraînera sûrement une défaillance de la fonctionnalité	La caractéristique se combine avec une autre pour garantir la fonction. Une défaillance de cette caractéristique risque de détériorer la fonction si la seconde caractéristique est également en limite
40%	La défaillance de la caractéristique entraînera peut-être une défaillance de la fonctionnalité dans un cas extrême	Une nuance de matière plastique non conforme pourrait avoir une influence sur la dégradation de la couleur dans le temps.
10%	La défaillance de la caractéristique pourrait altérer la fonctionnalité dans les cas extrêmes	La caractéristique a théoriquement une influence sur la caractéristique, mais les spécifications sont telles qu'il faudrait sortir de ces spécifications de façon radicale (ex 500%) pour avoir un impact sur la fonctionnalité.

Tableau 3.19 : Notre grille d'évaluation des contributions

Ici aussi et comme en notation AMDEC, l'animateur du groupe s'efforcera de trouver le consensus entre les membres du groupe, l'utilisation de la moyenne des contributions

données par chacun étant utilisée en dernier recours si les membres du groupe n'arrivent pas à parvenir à un accord.

Le dessin ci-dessous montre la matrice d'impact qu'aurait pu réaliser un groupe de travail à propos de notre rasoir. On remarquera que parfois, le groupe de travail a décidé de donner une contribution de 30% même si la grille de cotation ne donne pas cette valeur a priori :

		Fonction	Fp1				Fp2			Fc1		Fc2		Fc3	Fc4	Fc5
		Critères de performances (en terme fonctionnels)	Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTTF	Confort de rasage	Fiabilité	Taux hygrométrie surfacique	Confort tactile	Taux d'allergies de la main	Taux de coupures	Taux d'allergies du visage	Durabilité	Durabilité	Esthétisme
			Objectifs	5 min ± 2 min	20N Max	1 an mini	10 rasages	> 90% satisf.	10 rasages	85% ± 3%	> 90% satisf.	< 1 ‰	< 10 ppm	< 1 ‰	1 an mini	1 an mini	> 90% satisf.
		Gravité fonctionnelle														
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit ↓														
Manche	Φ6 ± 0,5	Section			40%					40%						10%
	Caoutchouc	Nature			40%					70%	100%			40%		40%
Tête	40 ± 0,3	Longueur	40%	10%												
	10 ± 0,2	largeur		10%		10%	40%									10%
	Polypropylène	Nature		10%	10%	10%							40%	40%	40%	
Lames	0 ± 1°	Position / manche					40%			40%						70%
	37 ± 0,1	Longueur	100%	70%			40%									
	7 ± 0,05	largeur				10%										
	Inox	Nature	70%	10%		40%	10%					100%	40%	100%	100%	
	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / tête		40%		10%						40%				10%
Contre-lames	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / contre-lame		40%		10%						40%				10%
	39 ± 0,3	Longueur	40%	10%												
	9 ± 0,05	largeur		10%		10%	40%									
Lubrifiant	Polypropylène	Nature		10%	10%	10%							40%	40%	40%	
	33 ± 0,1	Longueur		10%			10%									10%
	1 ± 0,1	largeur		70%		10%	70%									
	0,3 ± 0,05	Epaisseur				40%		40%								
Capuchon	Aloe	Nature		40%		10%	70%	40%	100%				100%	100%	100%	
	0 ± 1°	Parallélisme / contre-lame														100%
	41 ± 0,3	Longueur														
Polyéthylène	11 ± 0,2	largeur														
		Nature			10%											

Tableau 3.20 : Définition des contributions des caractéristiques des composants sur les fonctionnalités du rasoir

A ce niveau, on ne peut encore pas parler d'innovation à propos de notre matrice, celle-ci étant trop proche d'une matrice du QFD (le QFD est aujourd'hui considéré comme un des éléments primordiaux du « Design For Six Sigma » [Chowdhury, 2003] [Creveling, 2003] et est d'ores et déjà intégré dans les programmes de formation universitaires et appliqué par les élèves dans le cadre de leurs projets [Arcidiacomo, 2006]. Au niveau industriel, le QFD est classiquement utilisée chez FORD [Sodenborg, 2004]), mais c'est dans son utilisation, notamment pour évaluer les notes de gravité en approche composant de l'AMDEC Produit, que se situe notre principal apport (voir paragraphe 9.2 du présent chapitre).

Cependant, la matrice d'impact joue un rôle important dans le souci de conserver tout au long du processus de développement la mémoire de l'importance de chaque caractéristique élémentaire sur les fonctions du produit. A travers les contributions, on garde la trace de l'impact de chaque caractéristique tout au long du développement mais aussi dans toute la vie du produit.

8. Amélioration de l'efficacité au niveau de l'APR agression

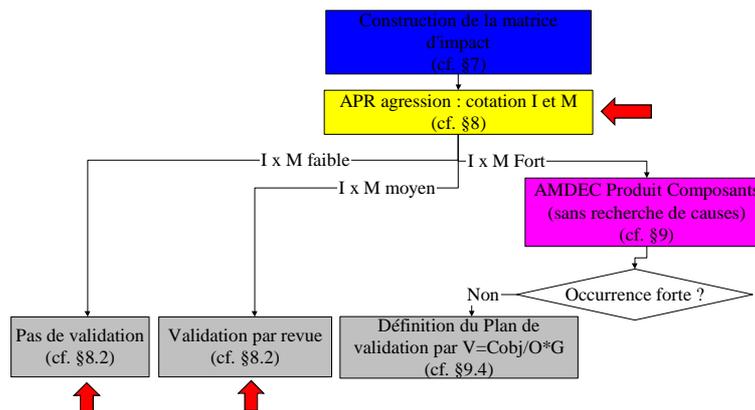


Figure 3.15 : Positionnement du paragraphe

Au chapitre 1, nous avons exposé deux approches différentes pour réaliser les AMDEC Produit : l'approche que nous avons appelée « fonctionnelle » et l'approche dite « composants ». Ces deux approches étant complémentaires par leurs objectifs, il serait intéressant de les mener de front ; mais cela doublerait de fait les temps d'analyse. Le concepteur est donc souvent contraint de choisir l'une ou l'autre des approches dans un souci de gain de temps, malheureusement au détriment de l'efficacité en termes de maîtrise de risque.

Aussi, eu égard aux avantages portés par chacune des approches, nous proposons de ne pas choisir entre l'une ou l'autre des méthodologies, mais de mener chacune d'entre elle, en se concentrant uniquement sur les points qui méritent une analyse.

Tout comme l'APR fonctionnelle simplifiée nous servait à paramétrer les analyses de risque fonctionnelles à mettre en œuvre, nous proposons d'utiliser une APR agression simplifiée pour paramétrer les analyses de risque à réaliser au niveau des composants.

8.1. Positionnement de chaque composant dans notre matrice Importance / Maîtrise

Chaque composant et liaison inter-composant répertoriés dans l'analyse fonctionnelle interne est positionné dans notre matrice « Importance (I) » / « Maîtrise (M) » (ces noms nous semblant plus parlants que « Gravité » et « Occurrence »), chacun de ces critères étant toujours évalué sur une échelle de 1 à 4.

L'importance du composant est positionnée sur l'axe des abscisses de notre matrice en fonction de l'importance de la fonction pour laquelle il a été créé. Si un composant entre dans la réalisation de plusieurs fonctions, seule la fonction la plus « importante » sera prise en compte. Cette importance des composants est évaluée selon la grille de cotation ci-après, grille correspondant à la grille que nous avons utilisée pour évaluer l'importance des fonctions dans le paragraphe consacrée à l'Analyse Préliminaire de risque fonctionnelle.

Note	Importance
1	· Composant impactant une l'esthétisme ou la bruyance du système. En cas de défaillance, l'utilisateur peut continuer à utiliser son système ; il n'y aura pas d'intervention si la défaillance intervient en dehors de la période de garantie.
2	· Composant impactant une fonction secondaire dont la défaillance permettrait cependant à l'utilisateur de continuer à utiliser son système : une intervention s'imposera mais pas
3	· Composant impactant une fonction primaire dont la défaillance conduirait à un arrêt total du système nécessitant une intervention pour le rendre à nouveau utilisable (notion de « panne »).
4	· Composant impactant une fonction sécuritaire dont la défaillance est susceptible d'entraîner des risques de morts ou de dommages corporels pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).

Tableau 3.21 : Grille de cotation de l'importance de la fonction impactée par le composant

Sur le second axe de notre matrice est évalué le niveau de maîtrise de l'entreprise vis-à-vis de la réalisation dudit composant. De même que pour l'APR fonctionnelle, nous proposons de coter cette maîtrise en fonction du niveau d'innovation intégré dans la conception du composant étudié [De Toni, 1999] et sur l'impact du nombre potentiel de défaillances qu'il pourrait engendrer sur la santé financière de l'entreprise. La grille correspondante est la grille suivante :

Note	Niveau de Maîtrise
1	Composant éprouvé (et satisfaisant) dans les mêmes conditions d'utilisation : => Il est pratiquement impossible qu'un composant de ce type défaille au cours de la durée de vie de l'ensemble de la population des systèmes
2	Composant éprouvé mais pas dans ces conditions d'utilisation ou composant qui historiquement a donné des défauts a priori résolus => Il est possible que quelques composants de ce type défailent au cours de leur durée de vie
3	Nouveau composant mais de concept éprouvé => Il est possible qu'une part non négligeable des composants de ce type présentent une défaillance au cours de leur vie <i>impactant la rentabilité du produit</i> (retours garantie)
4	Nouveau composant de concept innovant => Il est possible qu'une majorité des composants de ce type présentent des défaillances au cours de leur vie <i>engendrant un problème d'image de marque du produit voire de l'entreprise</i>

Tableau 3.22 : Grille de cotation du niveau de maîtrise du composant

En ce basant sur les contributions de la matrice d'impact vues au chapitre précédent pour évaluer l'importance des composants et sur le niveau d'innovation apporté à chacun d'entre eux, le groupe d'analyse a positionné composants et liaisons inter-composants du système de la manière suivante :

N i v e a u d' i n n o v a t i o n	Nouveau composant de concept innovant				
	Nouveau composant mais de concept éprouvé			- Tête - contre-lames - Liaison tête/lames - Liaison lames/contre-lames	- Lames
	Composant éprouvé mais pas dans ces conditions d'utilisation ou composant qui historiquement a donné des défauts a priori résolus		- Lubrifiant - Liaison main/manche	- Liaison lames/poils	
	Composant éprouvé (et satisfaisant) dans les mêmes conditions d'utilisation	- Capuchon	- Liaison contre-lames / lubrifiant	- Manche - Liaison manche/tête	- Liaison lubrifiant/peau
	Composant impactant esthétique / bruyance	Composant impactant fonction secondaire	Composant impactant fonction primaire	Composant impactant fonction sécurité	
	Impact client				

Tableau 3.23 : Positionnement de chacun des composants et liaisons du rasoir dans notre grille Importance / maîtrise

D'un point de vue pratique, le groupe d'analyse peut :

- soit positionner chacun des composant et liaison inter-composants dans la matrice Importance / Maîtrise comme montré ci-dessus.
- soit renseigner directement la note d'importance et de maîtrise en face des composants dans le tableau d'analyse fonctionnelle afin de limiter les documents connexes.

8.2. Détermination du mode de définition du type de validation

Avec le même raisonnement que celui que nous avons proposé pour valider la conception des systèmes d'un point de vue fonctionnel (les validations doivent être d'autant plus importantes qu'elles sont réalisées par des concepts innovants et que leur impact sur le client est important), nous proposons la grille suivante pour déterminer selon quelle méthode seront définies les démarches de validation des composants à mettre en œuvre au cours du projet :

Matrice de choix des outils de détermination des méthodes de validation					
Niveau d'importance	Nouveau composant de concept innovant	Validation définie par AMDEC Produit	Validation définie par AMDEC Produit	Validation obligatoire par endurance protos intégrant variabilité production, conditions sévères	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
	Nouveau composant mais de concept éprouvé	Vérification conformité au référentiel de conception	Validation définie par AMDEC Produit	Validation définie par AMDEC Produit	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
	Composant éprouvé mais pas dans ces conditions d'utilisation ou composant qui historiquement a donné des défauts a priori résolus	Rien	Vérification copie conforme + Validation utilisation par revue effectuée par un expert	Validation définie par AMDEC Produit	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
	Composant éprouvé (et satisfaisant) dans les mêmes conditions d'utilisation	Rien	Rien	Vérification de la copie conforme	Vérification de la copie conforme
	Composant impactant esthétique / bruyance	Composant impactant fonction secondaire	Composant impactant fonction primaire	Composant impactant fonction sécurité	
	Impact client				

Tableau 3.24 : Matrice de choix des outils de détermination des méthodes de validation des composants en fonctions des niveaux de Maîtrise et d'Importance

Encore une fois, même si la matrice proposée ci-dessus, étant la synthèse des différentes matrices de ce type que nous avons pu expérimenter dans diverses entreprises de divers secteurs, a vocation à être utilisable par le plus grand nombre d'entreprises possibles, chaque entreprise demeure évidemment libre de l'adapter en fonction de son niveau de maturité dans la maîtrise des outils de la Sûreté de Fonctionnement et de ses spécificités sectorielles propres.

Ainsi, pour notre rasoir, les outils mis en œuvre pour déterminer les modes de validation des différents composants et liaisons inter-composants seront les suivants :

Composant	Importance "I"	Maîtrise "M"	Type d'AMDEC à réaliser
Manche	3	1	Validation par vérification de la copie conforme
Tête	3	3	Validation définie par AMDEC Produit
Contre-lame	3	3	Validation définie par AMDEC Produit
Lames	4	3	Validation définie en fonction du niveau SIL défini par arbre de défaillance
Capuchon	1	1	Rien
Lubrifiant	2	2	Validation par vérification de la copie conforme + mode d'utilisation validée par expert
Liaison Main / Manche	2	2	Validation par vérification de la copie conforme + mode d'utilisation validée par expert
Liaison Manche / Tête	3	1	Validation par vérification de la copie conforme
Liaison Tête / Lames	3	3	Validation définie par AMDEC Produit
Liaison Lames / Contre-lames	3	3	Validation définie par AMDEC Produit
Liaison Lames / Poils	3	2	Validation définie par AMDEC Produit
Liaison Contre-lame / Lubrifiant	2	1	Rien
Liaison Lubrifiant / Peau	4	1	Validation par vérification de la copie conforme

Tableau 3.25 : Mode de détermination des méthodes de validation des composants et liaisons de notre rasoir

Dans notre exemple, on voit donc que seuls 6 composants ou liaisons sur 13 nécessitent une analyse poussée par AMDEC ou arbre de défaillance, les autres ne faisant l'objet que d'une validation par revue voire pas de validation du tout.

L'utilisation d'un tel paramétrage permet donc un gain de temps théorique de $7/13^{\text{ème}}$ (soit 54%) par rapport aux approches classiques qui demandent que chaque composant et liaison inter-composant soient analysés par une méthode type AMDEC.

Ce type de paramétrage permet donc au concepteur de maintenir ses risques à des niveaux acceptables, tout en réduisant le temps d'analyse, notamment celui consacré aux AMDEC. Une telle approche contribue à relever le défi actuel de la réduction des temps de développement couplé à l'accroissement des durées de garantie client, observé notamment dans l'industrie automobile.

9. Notre approche de détermination des validations composants par l'AMDEC produit (approche composant)

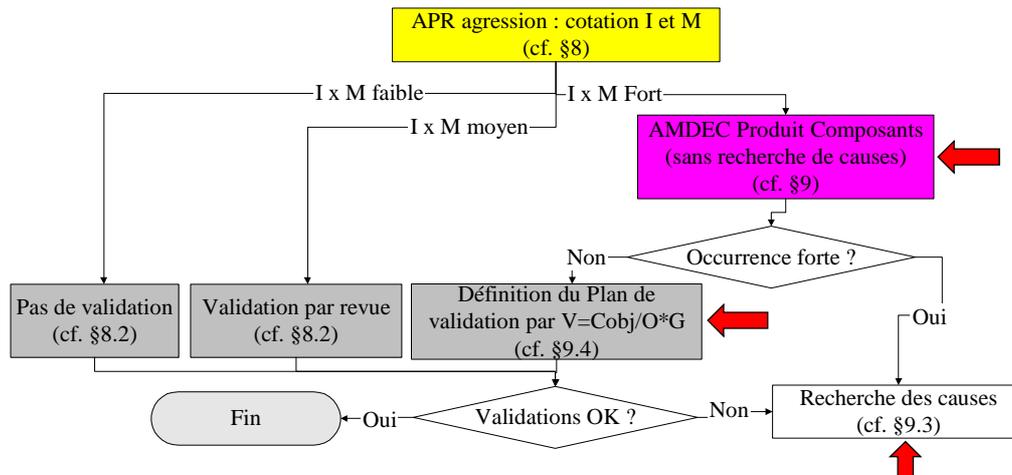


Figure 3.16 : Positionnement du paragraphe

Les griefs que nous avons émis pour l'approche « fonctionnelle » de l'AMDEC Produit s'appliquent évidemment également à l'approche dite « composant » :

- Non primeur des approches de conception robuste sur les actions de validation par la cotation à iso-valeur des critères d'Occurrence, de Gravité et de Validation.
- Sur-qualité lorsque des démarches de validation sont entreprises alors que l'occurrence est très basse.
- Perte de temps dans la réalisation des AMDEC par une recherche de causes systématique y compris pour des défaillances qui, a priori, n'arriveront pas (note d'occurrence très faible).

Ainsi, tout comme pour l'approche fonctionnelle, nous proposons d'utiliser l'AMDEC Produit dans sa version « composant » pour définir le mode de validation des composants et des liaisons inter-composants, à mettre en œuvre dans le projet. Ces validations seront dimensionnées de telle sorte que toutes les défaillances potentielles des composants ou des liaisons soient traitées à « ISO-Risque ».

Les grandes étapes de notre approche sont donc les suivantes :

- Rechercher les défaillances potentielles, en coter l'occurrence.
- Définir les effets de ces défaillances et en évaluer la **gravité réelle** grâce à la matrice d'impact.
- Rechercher une Action Corrective **pour réduire les occurrences les plus fortes**.
- Définir le plan de validation nécessaire et suffisant pour obtenir **l'objectif de criticité souhaité**.

9.1. Recherche des défaillances potentielles, et en coter l'occurrence

De même que pour l'approche fonctionnelle pour laquelle nous avons proposé un formulaire différent du formulaire classique à cause de la différence de séquençage de l'analyse, nous proposons pour l'AMDEC Produit dans sa version composant un formulaire du même type qui modifie l'ordre des colonnes pour le mettre en phase avec notre approche :

AMDEC PRODUIT (Approche composant)		Client			Produit			Sous-système			Doc No :						
Pilote		CC : Caractéristique Critique			N° AMDEC			Date			Indice :						
Animateur		CS : Caractéristique Spéciale			Ind. AMDEC			Seuil d'occurrence			Page :						
											Objectif criticité :						
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DÉFAUT					ACTIONS					SURVEILLANCE			Résultat		
N°	Composant / Liaison	Défaillance Potentielle -O-	Action de maîtrise	O	Effets défaillance (Effets potentiels) -G-	CC CS	G	Causes défaillance (Causes possibles de la défaillance)	Mesures prises	Déla	Responsable	O'	V cal	Validation (plan de validation) -V-	V réel	C	VJR
LIEN AVEC L'ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE		ANALYSE DES DÉFAILLANCES					RECHERCHE DES ACTIONS CORRECTIVES POUR RÉDUIRE LES OCCURRENCES					DEFINITION DU PLAN DE VALIDATION					

Tableau 3.26 : Proposition de formulaire AMDEC Produit approche composant

Ainsi, tout comme pour l'AMDEC classique, notre approche démarre par la **recherche des défaillances potentielles**. Ces défaillances correspondent à ce qui ne va pas sur le composant ou la liaison (rouille du composant, prise de jeu inter-composants, désolidarisation de deux composants, ...). Pour tendre vers l'exhaustivité dans la recherche des défaillances, nous conseillons vivement partir du bloc diagramme fonctionnel de l'analyse fonctionnelle interne en recherchant les défaillances potentielles au niveau du 1^{er} composant, puis au niveau de la liaison composant 1 / composant 2, ensuite au niveau du deuxième composant puis au niveau de la liaison composant 2 / composant 3, et ainsi de suite (voir le descriptif détaillé de l'AMDEC Produit en approche composant au chapitre 1).

Les défaillances trouvées, nous en évaluons tout de suite l'occurrence « O ». Même si notre approche ne suppose pas l'utilisation de grilles particulières pour coter l'occurrence, nous préconisons l'utilisation d'une grille de type Renault [Renault, 2000] où l'occurrence est graduée en fonction du niveau d'innovation mis par le concepteur dans la conception du composant ou de la liaison étudiée.

Ainsi, le tableau suivant montre l'ensemble des défaillances potentielles que le groupe de travail a trouvé sur les composants et liaisons à analyser de notre rasoir.

Dans un souci de capitalisation, nous avons noté en bleu les modes de validation des autres composants et liaisons (validation par copie conforme, par analyse de niveaux SIL, etc.) définis par l'APR agression :

AMDEC PRODUIT (Approche composant)		Client		Produit		Sous-système		Doc No :		Form 002							
Pilote Nicolas S.		Générique		Rasoir BIC-JET		Tous		Indice :		A							
Animateur François F.		CC : Caractéristique Critique CS : Caractéristique Spéciale		N° AMDEC Ind. AMDEC		Date 01/04/09		Page :									
				A		Seuil d'occurrence		Objectif criticité :									
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat			
N°	Composant / Liaison	Défaillance Potentielle - O -	Action de maîtrise	O	Effets défaillance (Effets potentiels) - G -	CC CS	G	Causes défaillance (Causes possibles de la défaillance)	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	V cal	Validation (plan de validation) -V-	V réel	C	VJ R
1	Liaison Main / Manche	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert															
2	Manche	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente															
3	Liaison Manche / Tête	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente															
4	Tête	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau têtes standard	1													
		Lames trop sorties	Rien	7													
		lames trop rentrées	Rien	7													
5	Liaison Tête / Lames	Prise de jeu	Reprise matériau têtes standard	2													
		Désolidarisation à l'emploi	Reprise matériau têtes standard	2													
6	Lames	Validations définies par arbre de défaillance															
7	Liaison Lames / Poils	Usure prématurée (Lames émoussées)	Rien	10													
8	Liaison Lames / Contre-lames	Lames trop sorties	Rien	7													
		lames trop rentrées	Rien	7													
9	Contre-lame	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau contre-lames standard	1													
10	Liaison Contre-lame / Lubrifiant	Pas de validation particulière à prévoir															
11	Lubrifiant	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert															
12	Liaison Lubrifiant / Peau	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente															
13	Capuchon	Pas de validation particulière à prévoir															

Tableau 3.27 : Recherche des modes de défaillances, de leurs effets et cotation associée dans notre formulaire

9.2. Recherche des effets et évaluation de la gravité de ces défaillances grâce à la matrice d'impact

L'étape suivante consiste donc à rechercher les effets de ces défaillances sur le client. Mais, comme a pu le montrer la matrice d'impact, les caractéristiques impactent souvent plusieurs fonctionnalités en même temps. Leur défaillance entraîne donc souvent moult effets clients qu'il est inenvisageable de noter dans leur intégralité par manque évident de temps et d'espace. Aussi, il est classique de ne noter dans l'AMDEC que l'effet jugé le plus important par le groupe. L'analyse des contributions effectuée lors de la construction de la matrice d'impact permet au groupe de se baser sur une étude formalisée pour définir l'effet le plus important qu'il convient de noter.

Les effets renseignés, l'étape suivante consiste à en coter la gravité « G ». Comme nous l'avons présenté au chapitre 1, la note de gravité est fonction de l'impact de la défaillance sur le client. Or en approche AMDEC, on considère classiquement que la liaison défaillance du composant / effet client est sûre (de probabilité égale à 1). Ainsi, si on imagine un jeu fonctionnel sécuritaire, chaque maillon de la chaîne de cotes sera considéré sécuritaire, quelque soit le nombre de maillons dans ladite chaîne de cotes. Pourtant chacun sait que si le nombre de maillons dans une chaîne de cotes est important, la défaillance d'un des maillons sera compensée par les autres. La note de gravité des maillons devrait donc être liée au nombre de maillons entrant dans la chaîne de cotes.

De plus, nous avons dit que dans les AMDEC, pour chaque défaillance n'est noté que l'effet le plus important pour le client et donc seul cet effet est généralement pris en compte dans l'évaluation de la gravité. Cependant, partant du principe qu'un client sera d'autant plus exaspéré que son produit présente une foultitude de petites anomalies, certaines

défaillances, impactant une multitude de fonctionnalités client, devraient voir leur note de gravité plus élevée que les défaillances n'en impacte qu'une.

L'approche que nous proposons consiste à coter la gravité en fonction de l'importance de chacune des fonctionnalités impactées (importance déterminée par l'approche fonctionnelle de l'AMDEC Produit vue plus haut dans ce chapitre), en pondérant l'importance de ces fonctionnalités par la contribution amenée par la caractéristique étudiée dans la réalisation de chacune d'entre elles (contribution renseignée dans la matrice d'impact).

9.2.1. Détermination la note de gravité des fonctionnalités client

La première étape de notre approche de détermination de la note de gravité des défaillances des composants consiste à déterminer l'importance de chacune des fonctionnalités potentiellement impactée. Les notes de gravité fonctionnelle, correspondant à l'importance de chacune des fonctionnalités attendues par le client et mentionnées dans le cahier des charges fonctionnel, seront notées dans la matrice d'impact à la rubrique que nous avons appelée « gravité fonctionnelle » :

- Pour les fonctionnalités sur lesquelles une analyse de type AMDEC Produit dans son approche fonctionnelle a été réalisée, cette note correspond directement à la note de gravité attribuée au mode de défaillance de chaque critère de performance.
- Pour les fonctionnalités pour lesquelles l'APR fonctionnelle n'a pas demandé d'analyse de type AMDEC, cette note sera issue de la note d'importance évaluée lors de l'APR et transformée sur une échelle de 1 à 10 pour être sur une échelle comparable aux notes déterminées par l'AMDEC Produit.

Le tableau ci-dessous montre la correspondance que nous proposons entre la grille d'Importance de d'APR fonctionnelle et la gravité fonctionnelle à renseigner dans la matrice d'impact :

Libellé	Note d'importance en APR Fonctionnelle	Note de gravité fonctionnelle
· Fonctions esthétique ou bruyance impactée , l'utilisateur peut continuer à utiliser son système ; il n'y aura pas d'intervention si la défaillance intervient en dehors de la	1	2
· Fonction secondaire dont la défaillance permet cependant à l'utilisateur de continuer à utiliser son système : une intervention s'imposera mais pas immédiatement.	2	5
· Fonction primaire dont la défaillance conduit à un arrêt total du système nécessitant une intervention pour le rendre à nouveau utilisable (notion de « panne »).	3	8
· Fonction sécuritaire dont la défaillance est susceptible d'entraîner des risques de morts ou de dommages corporels pour l'homme (utilisateurs, occupants, ...).	4	10

Tableau 3.28 : Correspondance note d'Importance, note de gravité fonctionnelle

Ainsi, le schéma ci-dessous montre comment sont évaluées les gravités fonctionnelles de notre rasoir renseignées dans la matrice d'impact :

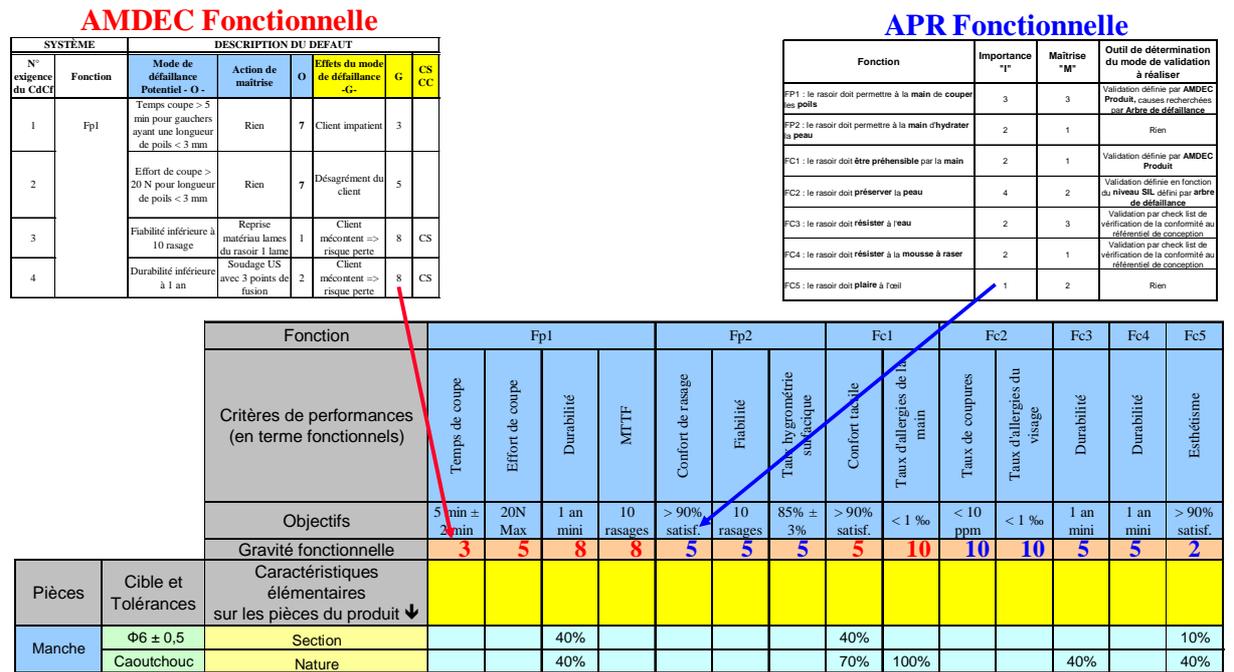


Figure 3.17 : mode de détermination des gravités fonctionnelles dans la matrice d'impact

9.2.2. Détermination de la gravité des caractéristiques produit

Comme nous l'avons vu plus haut, la note de gravité allouée à la défaillance d'un composant doit prendre en compte l'impact de cette défaillance sur chacune des fonctionnalités client et l'importance de ces fonctionnalités pour le client.

9.2.2.1. Prise en compte de l'impact d'une défaillance sur une fonctionnalité donnée

Pour prendre en compte l'impact d'une défaillance d'un composant sur une fonctionnalité donnée, nous avons pris l'hypothèse suivante :

« La gravité de la défaillance d'un composant n'augmente pas proportionnellement avec sa contribution sur une fonctionnalité donnée, mais avec sa racine carrée »

Ou de façon mathématique, si on appelle G_{ci} la gravité d'une défaillance d'un composant impactant avec un niveau de contribution C_i , une fonction i de gravité fonctionnelle G_{fi} , cette gravité G_{ci} est calculée par la formule :

$$G_{ci} = G_{fi} \sqrt{C_i} \quad (1)$$

Ainsi, comme le montre le graphe ci-dessous, la défaillance d'un composant impactant à hauteur de 20 % une fonctionnalité ayant une gravité fonctionnelle évaluée à 10, aura une note de gravité de 4 dans l'AMDEC Composant.

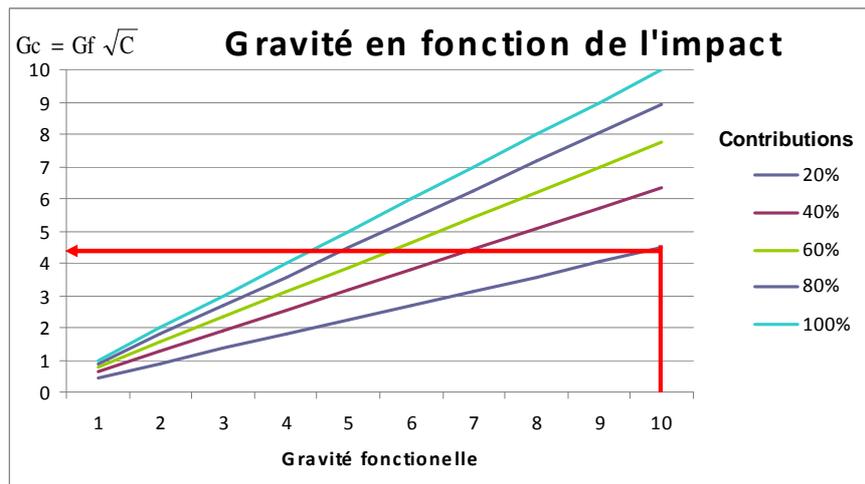


Figure 3.18 : Gravité d'un composant en fonction de son impact sur une fonctionnalité donnée

Ce report quadratique des gravités est facilement défendu dans le cas de critères entrant dans une chaine de cotes linéaire (addition des variances et non des écarts types), notre approche repose sur la généralisation de ce principe.

9.2.2.2. Prise en compte de l'ensemble des fonctionnalités

Pour prendre en compte l'impact sur l'ensemble des fonctionnalités dans le calcul de la note de gravité finale de la défaillance d'un composant, nous avons posé cette seconde règle :

« Les gravités individuelles se combinent de façon quadratique »

Ou de façon mathématique, la note de gravité finale G_c d'une défaillance d'un composant est calculée par de la façon suivante :

$$G_c = \sqrt{\sum_i G_{c_i}^2} \quad (2)$$

De même que pour le calcul de la note de gravité individuelle d'une défaillance d'un composant sur une fonctionnalité donnée évaluée en fonction de son impact, l'addition quadratique des gravités individuelles est fondée sur l'analogie avec l'addition des variances, principe que nous avons transféré au calcul de la gravité de la défaillance d'un composant impactant plusieurs fonctionnalités.

En injectant la formule (1) dans l'équation (2), il vient :

$$G_c = \sqrt{\sum_i G_{c_i}^2} = \sqrt{\sum_i (G_{f_i} \sqrt{C_i})^2} = \sqrt{\sum_i C_i G_{f_i}^2} \quad (3)$$

En AMDEC classique, les notes de gravité vont de 1 à 10. Aussi, pour retomber sur des valeurs classiques de gravité, nous avons décidé de prendre pour note de gravité la valeur calculée arrondie à l'entier le plus proche et maximisée à 10.

Ainsi, comme le montre le graphe ci-dessous, deux gravités élémentaires calculées à 5 comme précédemment, vont se combiner de façon quadratique pour donner une note de gravité finale de 7 :

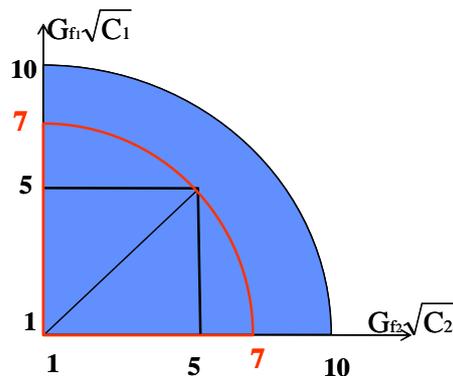


Figure 3.19 : Gravité d'une défaillance en fonction de son impact sur deux fonctionnalités données

Pour illustrer notre calcul, prenons l'exemple de la défaillance du manche du rasoir due à un problème de section. Cette section impactant à hauteur de 40 % la fonctionnalité client « durabilité » de la fonction principale 1 de gravité fonctionnelle égale à 8, à hauteur de 40 % la fonctionnalité « confort tactile » de la fonction contrainte N 1 présentant une gravité fonctionnelle de 5, et à hauteur de 10% la fonctionnalité « esthétisme » de la fonction contrainte N 5 présentant une gravité fonctionnelle de 2, l'équation (3) donne :

$$G_c = \sqrt{0,4 \times 8^2 + 0,4 \times 5^2 + 0,1 \times 2^2} = 6 \quad (4)$$

On remarque ainsi que, la gravité d'une défaillance d'un composant qui affecte faiblement (40 % dans notre exemple) une fonctionnalité pourtant jugée très importante pour le client (le critère « durabilité de la fonction principale 1) peut présenter un niveau de gravité plus bas que ladite fonctionnalité.

Il s'en suit que cette caractéristique, qui aurait été jugée « caractéristique spéciale » par la méthode classique car affectant une fonctionnalité de gravité supérieure à notre seuil de 7, ne sera pas considérée spéciale par l'approche que nous proposons.

Calculée de façon identique, la défaillance associée à la longueur des lames présente à l'inverse une note de gravité calculée de 6 alors qu'elle n'affecte que des fonctionnalités dont la note de gravité fonctionnelle maximum est de 5. Ainsi, la défaillance d'une caractéristique qui affecte fortement plusieurs fonctionnalités, peut présenter une note de gravité calculée plus forte que la note de gravité fonctionnelle la plus élevée.

Il s'en suit que cette caractéristique, jugée « non spéciale » par l'approche classique, sera considérée « spéciale » par notre approche.

Ce mode de détermination des caractéristiques spéciales basé sur le calcul de la note de gravité tel que décrit dans ci-dessus permet au concepteur de mettre en lumière les caractéristiques impactant les fonctionnalités jugée importantes pour le client, et ce au juste nécessaire :

- Juste, car ne sont jugées spéciales que les caractéristiques impactant effectivement et de manière significatives les fonctionnalités les plus importantes pour le client.

- Nécessaire car mettant aussi en évidence des caractéristiques qui certes n'impactent que des fonctionnalités peu importantes, mais dont la défaillance en nombre pourraient irriter le client.

La matrice d'impact complète, présentant les notes de gravité des caractéristiques des composants en fonction de l'importance des fonctionnalités attendues par le client et du taux d'impact de ces caractéristiques sur lesdites fonctionnalités peut donc se formaliser telle que présenté ci-dessous pour l'exemple de notre rasoir :

Fonction		Fp1				Fp2			Fe1		Fe2		Fe3	Fe4	Fe5	Gravité	CC / CS
		Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTTF	Confort de rasage	Fiabilité	Taux hygro-métrie surfacique	Confort tactile	Taux d'allergies de la main	Taux de coupures	Taux d'allergies du visage	Durabilité	Durabilité	Esthétique		
Critères de performances (en terme fonctionnels)																	
Objectifs		5 min ± 2 min	20N Max	1 an mini	10 rasages	> 90% satisf.	10 rasages	85% ± 3%	> 90% satisf.	< 1 %	< 10 ppm	< 1 %	1 an mini	1 an mini	> 90% satisf.		
Gravité fonctionnelle		3	5	8	8	5	5	5	5	10	10	10	5	5	2		
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit															
Manche	Φ6 ± 0,5	Section			40%					40%					10%	6	
	Caoutchouc	Nature			40%				70%	100%			40%		40%	10	CC
Tête	40 ± 0,3	Longueur	40%	10%											10%	2	
	10 ± 0,2	largeur		10%	10%	40%										4	
	Polypropylène	Nature		10%	10%							40%	40%	40%		9	CS
Lames	0 ± 1°	Position / manche				40%			40%						70%	5	
	37 ± 0,1	Longueur	100%	70%		40%										6	
	7 ± 0,05	largeur			10%											3	
	Inox	Nature	70%	10%	40%	10%					100%	40%	100%	100%		10	CC
Contre-lames	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / tête		40%	10%						40%				10%	8	CS
	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / contre-lame		40%	10%						40%				10%	8	CS
	39 ± 0,3	Longueur	40%	10%												2	
Lubrifiant	9 ± 0,05	largeur		10%	10%	40%										4	
	Polypropylène	Nature		10%	10%	10%						40%	40%	40%		9	CS
	33 ± 0,1	Longueur		10%			10%								10%	2	
	1 ± 0,1	largeur		70%	10%	70%										6	
Capuchon	0,3 ± 0,05	Epaisseur			40%			40%								6	
	Aloe	Nature		40%	10%	70%	40%	100%			100%	100%	100%			10	CC
	0 ± 1°	Parallélisme / contre-lame													100%	2	
Capuchon	41 ± 0,3	Longueur														1	
	11 ± 0,2	largeur														1	
	Polyéthylène	Nature			10%											3	

Tableau 3.29 : Exemple de détermination des gravités associées à chaque caractéristique des composants du rasoir grâce à la matrice d'impact

Ainsi, pour revenir à notre AMDEC composant, la note de gravité attribuée à chaque défaillance des composants est directement reprise de la note de gravité associée à la caractéristique incriminée du composant étudié comme le montre le schéma ci-après :

Fonction		Fct1		Fct2		Fct3		Fct4		Fct5		Gravité	CC / CS		
Critères de performances (en terme fonctionnel)		Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTP	Clavier de rasage	Durabilité	Étanchéité	Étanchéité	Durabilité	Durabilité				
Objectifs		5 min - 2 min	3N - Max	1 an mini	10 ans maxi	> 90% satisf	10 ans maxi	85% + 5%	> 90% satisf	< 1 %	< 10 mm	1 an mini	> 90% satisf		
Gravité fonctionnelle		3	5	8	8	5	5	5	10	10	10	5	2		
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit											Gravité	CC / CS	
Manche	46 ± 0,5	Section			40%							40%	10%	4	
	46 ± 0,5	Caractéristique	Nature		40%							70%	100%	4	CC
Tête	10 ± 0,2	Largeur		10%	10%	40%							10%	4	
	10 ± 0,2	Largeur	Nature	10%	10%	10%							10%	4	CC
Lames	37 ± 0,1	Longueur		70%	40%								70%	3	
	37 ± 0,1	Largeur	Nature	100%	70%	40%							40%	3	CC
Contre-lames	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / tête		70%	10%	40%	10%			100%	40%	100%	100%	4	CS
	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / contre-lame	Nature	40%	10%	10%				40%			10%	4	CS
Lubrifiant	9 ± 0,05	Largeur		10%	10%	40%						40%	40%	4	CS
	9 ± 0,05	Largeur	Nature	10%	10%	10%							40%	4	CS
Capuchon	41 ± 0,3	Longueur												1	
	41 ± 0,3	Largeur												1	

Figure 3.20 : Mode de détermination de la gravité des défaillances des composants du rasoir grâce à la matrice d'impact

La matrice d'impact, telle que nous l'avons utilisée ici, nous a servi à affiner la hiérarchisation des défaillances en AMDEC Composant par une meilleure évaluation de la note de gravité. Nous montrerons dans le chapitre 4 que cette hiérarchisation n'est qu'une toute petite part de l'approche globale de sécurisation d'un développement (allant de la conception du produit jusque son industrialisation) que nous proposons dans laquelle la matrice d'impact prend une grande part

9.3. Recherche des actions correctives à mettre en œuvre pour réduire les occurrences les plus fortes

Tout comme pour l'AMDEC Fonctionnelle, nous sommes convaincus que nous devons rechercher systématiquement les causes de l'ensemble des défaillances potentielles détectées lors de l'AMDEC Composant est source de pertes de temps, potentiellement génératrices de rejet des analyses AMDEC par les équipes projet. Aussi, il nous semble que cette recherche de cause ne doit se faire que dans le cadre de la recherche d'actions correctives afin de déterminer l'action corrective la plus pertinente à mettre en œuvre.

Des actions correctives ne pouvant être menées pour palier à toutes les défaillances potentielles imaginées sur les composants, tout comme pour l'AMDEC Fonctionnelle, nous proposons de prioriser la recherche d'actions correctives, non pas sur un niveau de criticité tel que fait classiquement, mais **sur un seuil d'occurrence**, 5 par exemple, afin de forcer le concepteur à imaginer une conception a priori sûre.

Comme pour toute méthode de résolution de problème [Perigord, 1987], la recherche d'une action corrective nécessite de bien rechercher les causes avant de « sauter » sur une solution. C'est pourquoi dans notre AMDEC, nous avons placé la colonne « causes de la défaillance » juste avant la colonne « Mesures prises ». Selon la complexité du problème, cette recherche de causes peut se faire intuitivement ou être orchestrée par des approches

plus formelles telles que les diagrammes causes-effets ou les arbres de défaillances, voire par des approches plus mathématiques comme les plans d'expériences [Sado, 1995].

La recherche des causes, puis les actions correctives imaginées pour réduire les occurrences des défaillances du rasoir supérieures à 5, a ainsi été consignée dans notre tableau AMDEC ; générant de nouvelles notes d'occurrence comme le montre le tableau ci-dessous :

AMDEC PRODUIT (Approche composant)		Client		Produit		Sous-système		Doc No. : Form 002										
Pilote : Nicolas S.		Générique		Rasoir BIC-JET		Tous		Indice : A										
Animateur : François F.		CC : Caractéristique Critique CS : Caractéristique Spéciale		N° AMDEC : 1 Ind. AMDEC : A		Date : 01/04/09 Seuil d'occurrence : 5		Page : Objectif criticité :										
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DÉFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat				
N°	Composant / Liaison	Défaillance Potentielle - O -	Action de maîtrise	O	Effets Défauts (Effets potentiels) - G -	CC CS	G	Causes de défaillance (Causes possibles de la défaillance)	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	V cal	Validation (plan de validation) - V -	V réel	C	VJ R	
1	Liaison Main / Manche	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert																
2	Manche	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																
3	Liaison Manche / Tête	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																
4	Tête	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau têtes standard	1	Durabilité < 1 an	CS	9											
5	Liaison Tête / Lames	Lames trop sorties	Rien	7	Risque de coupure client	CS	8	Largeur tête trop faible	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	4						
		lames trop rentrées	Rien	7	Pas de coupes		6	Largeur tête trop longue	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	4						
		Prise de jeu	Reprise matériau têtes standard	2	Risque de coupure client	CS	8											
		Désolidarisation à l'emploi	Reprise matériau têtes standard	2	Rasoir inutilisable (amet fonction principale)		6											
6	Lames	Validations définies par arbre de défaillance																
7	Liaison Lames / Poils	Usure prématurée (Lames émoussées)	Rien	10	Risque de coupure client	CC	10	Lames en fer blanc (lames low cost)	Reprise lames inox classiques	sem 25	Bernard K.	1						
8	Liaison Lames / Contre-lames	Lames trop sorties	Rien	7	Risque de coupure client	CS	8	Largeur contre-lame trop courte	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	2						
		lames trop rentrées	Rien	7	Pas de coupes		6	Largeur contre-lame trop longue	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	2						
9	Contre-lame	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau contre-lames standard	1	Durabilité < 1 an	CS	9											
10	Liaison Contre-lame / Lubrifiant	Pas de validation particulière à prévoir																
11	Lubrifiant	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert																
12	Liaison Lubrifiant / Peau	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																
13	Capuchon	Pas de validation particulière à prévoir																

Tableau 3.30 : Actions correctives envisagées pour réduire les occurrences les plus élevées des défaillances du rasoir

Le produit ainsi conçu (voire reconçu) devrait a priori présenter des niveaux de fiabilité en accord avec les objectifs du client. Cependant, reste à valider ce dernier point.

9.4. Construction du plan de validation nécessaire et suffisant pour viser l'objectif de criticité souhaité.

Tout comme pour la validation fonctionnelle du système, nous pensons que la puissance de la validation à mettre en œuvre pour valider la conception d'un composant dépend de sa probabilité de défaillir (l'occurrence) et de l'impact de cette éventuelle défaillance sur la fonctionnalité client (la gravité). Aussi, contrairement à l'approche classique où dans le calcul de la criticité $C = O \times G \times V$, la validation est prise comme une donnée d'entrée, nous proposons de calculer le niveau de validation nécessaire et suffisant pour viser un niveau de criticité donné. Cette approche permet de ne pas prioriser les défaillances les unes par rapport aux autres mais de chercher à travailler à « ISO risque » pour toutes les défaillances étudiées.

Le calcul du niveau de validation se fait donc par la formule :

$$V = \frac{C_{\text{objectif}}}{O \times G} \quad (1)$$

Comme pour l'approche fonctionnelle, un niveau de criticité objectif à 100 tel que classiquement usité dans la littérature, nous semble pertinent. Cependant, et en liaison avec le seuil de criticité préconisé par RENAULT [Renault, 2000], cet objectif peut être modulé en fonction de la note de gravité et être abaissé à 50 pour les gravités supérieures à 7. Une

telle approche permet de réduire le niveau de risque accepté pour les défaillances qui impacteraient fortement les fonctionnalités client.

Ainsi, dans l'exemple de notre rasoir, la puissance de validation nécessaire calculée par la relation (1) nous donne les notes de validation suivantes :

Objectif de criticité !

AMDEC PRODUIT (Approche composant)		Client		Produit		Création / Mise à jour		Doc No. : 002										
Pilote : Nicolas S.		Générique		Rasoir BIC (ET)		Tous		Index :										
Animateur : François F.		CC : Caractéristique Critique		N° AMDEC : 1		Date : 01/07/09		Page :										
		CS : Caractéristique Spéciale		Ind. AMDEC : A		Seuil d'occurrence : 5		Objectif criticité : 100										
SYSTÈME		DESCRIPTION DU DEFAULT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat				
N°	Composant / Liaison	Défaillance Potentielle - O -	Action de maîtrise	O	Effets Defaults (Effets potentiels) - G -	CC CS	G	Causes défaillance Causes possibles de la défaillance	Moindres prises	Délai	Responsable	O	V cal	Validation (plan de validation) - V -	V réel	C	VJ R	
1	Liaison Main / Manche	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert																
2	Manche	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																
3	Liaison Manche / Tête	Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																
4	Tête	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau têtes standard	1	Durabilité < 1 an	CS	9							11,1				
5	Liaison Tête / Lames	Lames trop sorties	Rien	7	Risque de coupure client	CS	8	Largeur tête trop faible	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	4	3,1					
		lames trop rentrées	Rien	7	Pas de coupes			Largeur tête trop longue	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	4	4,2					
		Prise de jeu	Reprise matériau tête standard	2	Risque de coupure client	CS	8							6,3				
		Désolidarisation à l'emploi	Reprise matériau têtes standard	2	Rasoir inutilisable (arrêt fonction principale)		6							8,3				
6	Lames	Validations définies par arbre de défaillance																
7	Liaison Lames / Poids	Usure prématurée (Lames émoussées)	Rien	10	Risque de coupure client	CC	10	Lames en fer blanc (lames low cost)	Reprise lames inox classiques	sem 25	Bernard K.	1	10					
8	Liaison Lames / Contre-lames	Lames trop sorties	Rien	7	Risque de coupure client	CS	8	Largeur contre-lame trop courte	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	2	6,3					
		lames trop rentrées	Rien	7	Pas de coupes		6	Largeur contre-lame trop longue	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	2	8,3					
9	Contre-lame	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau contre-lames standard	1	Durabilité < 1 an	CS	9						11,1					
10	Liaison Contre-lame / Lubrifiant	Pré-validation																
11	Lubrifiant	Validation par expert																
12	Liaison Lubrifiant / Poau																	
13	Capuchon																	

Déterminer le niveau de validation nécessaire et suffisant pour obtenir un niveau de risque donné par $V=C_{obj}/OxG$

Tableau 3.31 : Calcul du niveau de validation nécessaire et suffisant

La note de validation calculée, le mode de validation correspondant est alors tiré de la grille de cotation de la validation choisie.

Bien que notre approche est indépendante de la grille de validation choisie (voir grilles de cotation présentées au chapitre 1), dans un souci d'homogénéité, nous préconisons de conserver pour l'AMDEC Composant les mêmes grilles de cotation que celles utilisées pour l'AMDEC Fonctionnelle.

Nous reprenons donc ici notre grille où la note de validation dépend du nombre de validations et du type de validations mises en œuvre.

Mode de validation	Points	Σ des points	Note
Revue de Validation	1 point	0	10
Calculs prévisionnel avec faible coefficient de sécurité ou hypothèses non sûres	2 points	0 < Σ des points ≤ 2	8
Test protos sur banc en conditions nominales	4 points	2 < Σ des points ≤ 6	6
Calculs prévisionnel avec fort coefficient de sécurité ou hypothèses sûres	6 points	6 < Σ des points ≤ 10	4
Test protos sur banc intégrant les variabilités de production et de conditions d'utilisation recherchée par un P-Diagramm	8 points	10 < Σ des points ≤ 15	2
Endurance "produits pré-série" par panel client	10 points	Σ des points > 15	1

Tableau 3.32 : Proposition grille de cotation de la validation

Ainsi, en fonction de la note de validation recherchée, charge au responsable validation de définir la séquence de validation qui amène le nombre de points correspondant.

Dans notre exemple, pour valider que les lames ne sortiront pas trop par rapport à la tête au risque de provoquer des coupures de l'utilisateur, le valideur a décidé de commencer sa séquence de validation par un calcul de chaîne de cotes avec fort coefficient de sécurité lui apportant 6 points, de poursuivre avec le test de prototypes sur banc en conditions normales lui apportant 4 points, et de finir par une revue des résultats avec un expert lui apportant 1 point. Le cumul de ces validations apporte donc un nombre de points total de 11, correspondant bien à la note de validation recherchée de 2.

L'ensemble des validations prévues est alors consignées dans le tableau AMDEC comme présenté ci-après :

AMDEC PRODUIT (Approche composant)		Client		Produit		Sous-système		Doc No :		Form 002								
Pilote		Nicolas S.		Rasoir BIC-JET		Tous		Date		Index								
Animateur		François F.		N° AMDEC		1		01/04/09		Page								
		CS : Caractéristique Critique		Ind. AMDEC		A		Seuil d'occurrence		Objectif criticité								
								S		100								
SYSTÈME				DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE						
N°	Composant / Liaison	Défaillance Potentielle (-O-)	Action de maîtrise	O	Effets Defaults (Effets potentiels) (-G-)	CC CS	G	Causes défaillance (Causes possibles de la défaillance)	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	V cal	Validation (plan de validation) (-V-)	V réel	C	VI R	
Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert																		
Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																		
Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																		
4	Tête	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau têtes standard	1	Durabilité < 1 an	CS	9						11	Rien	10	90	j	
5	Liaison Tête / Lames	Lames trop sorties	Rien	7	Risque de coupure client	CS	8	Largeur tête trop faible	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	4	3,1	Validation par calcul chaîne de cotes avec fort coeff sécurité + tests prototype sur banc en conditions normales + Revue validation par expert (11 points)	2	64	v	
		lames trop rentrées	Rien	7	Pas de coupes		6	Largeur tête trop longue	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	4	4,2	Validation par calcul chaîne de cotes avec fort coeff sécurité + tests prototype sur banc en conditions normales + Revue validation par expert (11 points)	2	48	v	
		Prise de jeu	Reprise matériau têtes standard	2	Risque de coupure client	CS	8							6,3	Test prototype sur banc en conditions normales (4 points)	6	96	j
		Désolidarisation à l'emploi	Reprise matériau têtes standard	2	Rasoir inutilisable (arrêt fonction principale)		6							8,3	Test prototype sur banc en conditions normales (4 points)	6	72	v
Validations définies par arbre de défaillances																		
6	Lames																	
7	Liaison Lames / Poils	Usure prématurée (Lames émoussées)	Rien	10	Risque de coupure client	CC	10	Lames en fer blanc (lames low cost)	Reprise lames inox classiques	sem 25	Bernard K.	1	10	Rien	10	100	j	
8	Liaison Lames / Contre-lames	Lames trop sorties	Rien	7	Risque de coupure client	CS	8	Largeur contre-lame trop courte	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	2	6,3	Validation par calcul chaîne de cotes avec fort coeff sécurité (6points)	6	96	j	
		lames trop rentrées	Rien	7	Pas de coupes		6	Largeur contre-lame trop longue	Reprise largeur têtes rasoir 2 lames	Sem 20	Jack L.	2	8,3	Validation par calcul chaîne de cotes avec fort coeff sécurité (6points)	6	72	v	
9	Contre-lame	Dégradation de l'état de surface	Reprise matériau contre-lames standard	1	Durabilité < 1 an	CS	9						11	Rien	10	90	j	
Pas de validation particulière à prévoir																		
Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente + mode d'utilisation validée par expert																		
Validation par vérification de la copie conforme au système de génération précédente																		
Pas de validation particulière à prévoir																		

Tableau 3.33 : AMDEC Composant complète du rasoir effectuée selon notre approche

Comme sur notre formulaire d'AMDEC Fonctionnelle, la note de criticité finale est recalculée en fonction du niveau de validation réellement appliqué et un petit indicateur visuel (Vert, Jaune, Rouge) s'affiche en bout de ligne selon les règles suivantes :

- Rouge : la criticité obtenue est supérieure à la criticité objectif. Le niveau de validation mis en œuvre est alors trop faible, le groupe de travail doit alors prévoir de multiplier les démarches de validation ou de choisir des modes de validation plus efficaces.
- Jaune : la criticité obtenue est comprise entre la criticité objectif et 80% de cette valeur. Nous sommes ici dans la zone idéale.
- Vert : la criticité obtenue est inférieure à 80% de la criticité objectif. Nous sommes ici potentiellement dans le cadre de « sur-qualité » à cause de validations trop poussées qu'il conviendrait d'alléger. Cependant, une telle criticité réelle peut tout de même être obtenue sans générer de surcoût lorsque le mode de validation d'une défaillance valide également une autre défaillance qui ne nécessite pas ce niveau de validation

L'ensemble des validations composant proposées dans l'AMDEC est alors intégré dans le plan de validation composant, document qui regroupe l'ensemble des validations devant être menées pour valider la conception du système.

Les validations engendrées suite aux autres analyses comme les arbres de défaillances menés sur les défaillances de type sécuritaire ou les validations par vérification de la copie conforme sont également renseignées dans le plan de validation afin d'avoir un document complet.

Dans le cas de relations client / fournisseur, ce plan de validation est généralement considéré comme « livrable » car considéré comme faisant partie intégrante des documents nécessaires au client pour avoir confiance en l'aptitude du fournisseur à concevoir un produit sûr.

Au niveau de notre rasoir, le plan de validation composant est alors le suivant :

PLAN DE VALIDATION COMPOSANTS									
		Produit : Rasoir			Rédacteur : François F.			Indice : A	
		Référence : BIC-JET			Date : 2/04/2009				
N° action	Composant	Caractéristique	Objectif	Démarche de validation	Conditions du tests	Nb de validations	Phasage de la validation	Responsable	Statut
1	Manche	Toutes	Identique génération précédente	Revue copie conforme génération N-1		1	Phase design	Collègue	
2	Tête	Matériau	Non allergisant	Revue de constituant		1	Phase protos	Responsable matériau	
3	Tête	Largueur	Lames dépassants 0,3±0,05 mm	Chaîne de cote	coef sécurité = 5	1	Phase design	Concepteur	
4	Tête	Largueur	Lames dépassants 0,3±0,05 mm	Tests prototypes	- Durée objectif - Composants à la cote nominale	7 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
5	Tête	Largueur	Lames dépassants 0,3±0,05 mm	Revue de fonctionnement		1	Phase protos	Responsable R&D	
6	Lames	Affutage	Selon dessin	Essais de fiabilité	- Durée objectif - Contrainte normale	7 systèmes	Phase protos	Labo fabricant lames	
7	Lames	Largueur	Ne dépassant pas contre-lame	Essais de fiabilité	- Durée objectif + 20% - Prise en compte variabilité de production + 20%	7 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
8	Lames	Prise de jeu ou désolidarisation	Aucune	Tests prototypes	- Durée objectif - Composants à la cote nominale	7 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
9	Contre-lame	Largueur	Lames non dépassants	Chaîne de cote	coef sécurité = 5	1	Phase design	Concepteur	
10	Contre-lame	Largueur	Lames non dépassants	Revue de chaîne de cote		1	Phase design	Responsable R&D	
11	Lubrifiant	Dégradation	Pas de trace de dégradation	Essais de fiabilité	- Durée objectif - Contrainte normale	7 systèmes	Phase protos	Labo EQS	
12	Lubrifiant	Toutes	Identique génération précédente	Revue copie conforme génération N-1		1	Phase design	Collègue	
13	Lubrifiant	Modes d'utilisation	Normales	Revue par expert		1	Phase design	Responsable R&D	

Tableau 3.34 : Plan de validation composant du rasoir

Dans le tableau ci-dessus, et pour une meilleure lecture du document, nous avons mis les validations issues de l'AMDEC en noir, les validations générées par les autres analyses étant présentées en bleu.

10. Conclusion du chapitre

Comme l'on montré JOHNSON et KHAN [Johnson, 2003], on constate classiquement dans les entreprises, que l'exigence de couverture totale des analyses de risque, notamment des AMDEC, demandée dans le cadre de l'assurance qualité projet, fait que bon nombre de ces analyses sont réalisées à la « va-vite », sans réelle pertinence. Il en résulte un taux de défaillances inacceptable au regard du temps passé par les équipes de développement.

Dans les précédents chapitres, nous avons fait une description relativement exhaustive des meilleures pratiques actuelles pour l'analyse des risques en soulignant les difficultés pratiques induites. Partant de la maxime que « trop d'analyses tuent l'analyse », nous avons cherché à proposer une démarche qui permet de dimensionner cette analyse au juste nécessaire. En nous appuyant sur les analyses classiques, notre contributions a porté sur la proposition d'outils méthodologiques nouveaux ou sur l'adaptation de certains outils afin de rendre la démarche de sécurisation moins chronophage et donc plus pertinente que les approches classiques.

Ainsi, notre approche commence par une définition du mode de détermination des démarches de validation des fonctions. Cette définition repose sur une Analyse Préliminaire de Risque (APR) simplifiée où chaque fonction est cotée en fonction de son importance et de son niveau de maîtrise selon des grilles de cotation que nous avons créées.

- Pour les fonctions de type « sécuritaire », le mode de validation est déterminé en fonction d'un niveau que nous avons appelé SIL pour Safety Integrated Level ; ce niveau SIL correspondant au risque associé à chacune des racines de l'arbre de défaillance modélisant la défaillance de ladite fonction sécuritaire.
- Pour les fonctions dont le couple « importance » / « maîtrise » est fort, le mode de validation est déterminé suite à AMDEC Produit. Ici, nous proposons un mode de réalisation des AMDEC un peu novateur où, après n'avoir recherché les causes des défaillances que dans le cadre de la mise en œuvre d'actions correctives destinées à réduire les occurrences les plus fortes, le mode de validation est déterminé en fonction de l'occurrence résiduelle et de la gravité de la défaillance afin que chaque défaillance soit traitée à ISO-risque.
- Pour les fonctions dont le couple « importance » / « maîtrise » est moyen, le mode de validation ne sera constitué que de revues.
- Pour les fonctions dont le couple « importance » / « maîtrise » est très faible, aucune validation particulière n'est jugée nécessaire.

Dans ce chapitre, nous avons également montré que les analyses de risque ne devaient pas être soit uniquement d'ordre fonctionnelle, soit uniquement au niveau « composant » mais que ces deux angles de vues devaient être menés concomitamment, la méthodologie déployée au niveau composant étant identique à celle déployée au niveau fonctionnelle. Cependant, au niveau de l'AMDEC composant, nous proposons d'utiliser la matrice d'impact pour déterminer les gravités associées aux caractéristiques des composants, ces gravités étant calculées à partir des notes de gravités allouées aux fonctionnalités impactées et à la contribution de ces caractéristiques sur lesdites fonctionnalités

La mise en œuvre de notre méthodologie nous met donc dans une situation gagnant – gagnant – gagnant à savoir :

- Gagnant pour le chef de l'entreprise conceptrice qui voit baisser ses temps d'analyses et de validations et donc ses coûts de développement.
- Gagnant pour les équipes de conception qui n'ont plus l'impression de passer du temps à faire des analyses « paperasses ».
- Gagnant pour le client qui recevra un produit plus sûr car issu d'analyses de risque pertinentes.

VERS UNE MAITRISE DE RISQUE
EFFICIENTE EN
INDUSTRIALISATION

« Celui qui ne progresse plus,
cesse d'être bon. »

Bernard de Clairvaux
(St Bernard)
1091 - 1153

Vers une maîtrise de risques efficace en industrialisation

1. Introduction

Même si elle n'a plus à prouver son efficacité, l'approche classique de maîtrise des risques en industrialisation telle que nous l'avons décrite au chapitre 2 présente à nos yeux deux inconvénients majeurs :

- Son coût en termes de durée d'analyse : La méthodologie AMDEC Processus, dans sa mise en œuvre classique, étant toujours très chronophage ; surtout si, comme c'est souvent le cas dans l'industrie automobile par exemple, chaque nouvelle pièce est traitée comme si elle était fabriquée par un nouveau processus qu'il faut analyser dans son ensemble.
- Sa possibilité de créer des plans de surveillance trop conséquent car intégrant parfois « ceinture et bretelles » sur des caractéristiques non primordiales pour le client.

En effet, une industrialisation idéale devrait permettre au processus de fabriquer le produit bon du premier coup sans avoir la nécessité de faire le moindre contrôle. Ainsi, trop souvent oublié, le principe de base d'une bonne industrialisation devrait être de minimiser les contrôles nécessaires. Or, on constate souvent que les plans de surveillance mis en œuvre demandent aux opérateurs de contrôler tout... tout le temps.

Si on se réfère au tableau ci-dessous présentant un exemple de calcul du coût engendré par un contrôle, on voit que si on veut maîtriser ses coûts, les contrôles ne doivent intervenir que s'ils sont justifiés.

Coût d'un contrôle		
Instrument	1 000,00 €	Fixe
Nb de pièces par contrôle	5	(type SPC)
Nbde contrôle par équipe	8	(1 par heure)
Temps de contrôle	30	en seconde
Prix du consommable	0,01 €	par contrôle
Prix de la pièce si destructif	- €	Par contrôle
Nb équipe	2	
Nb jours de prod par an	220	
Nb d'années	5	
Prix d'un opérateur	40,00 €	
Nb de contrôle	88000	dans la vie du produit
Temps de contrôle	733,3	Heures
Prix du contrôle	31 213,33 €	Prix de la ligne

Tableau 4.1 : Coût d'un contrôle en production

L'approche que nous développerons dans ce chapitre permet de construire un plan de surveillance le plus efficace possible c'est-à-dire très efficace mais au juste nécessaire.

Pour cela, nous utiliserons deux techniques éprouvées que sont l'arbre de défaillance et l'AMDEC Processus, mais mises en œuvre de façon inédite :

- L'arbre de défaillance combiné avec une approche en SIL (Safety Integrated Level), en prolongeant sur le process, l'approche proposée en conception produit au chapitre 3.
- L'AMDEC Processus en cherchant d'abord à robustifier le process pour réduire les taux de défauts produits, avant de définir l'effort de contrôle à déployer pour garantir que les quelques défauts résiduels ne puissent être livrés au client.

Puis nous proposerons un outil de synthèse que nous avons appelé « matrice d'impact globale », dont l'objet est également de construire un plan de surveillance au juste nécessaire mais en s'affranchissant de la réalisation d'une AMDEC Processus toujours très longue à réaliser. Cette approche, plus rapide que la méthodologie proposée ci-dessus, est particulièrement applicable pour des industrialisations de processus de fabrication pas trop complexes.

2. Avertissement

Historiquement le qualitatif est un homme qui vient du contrôle. Contrôleur, son métier était de s'assurer que les pièces produites étaient conformes au plan (ou plus largement aux spécifications). Produire les quantités voulues et pas trop cher était un rôle dévolu au fabricant.

Avec les années, la fonction du qualitatif a glissé du contrôle (mission de confinement des pièces non-conformes) vers la maîtrise. C'est-à-dire que pour garantir la livraison de pièces conformes au client, il ne se contente plus de trier les mauvaises pièces mais fait également en sorte que le processus de fabrication ne les produise pas. Cependant, les problématiques coût et délais ne lui incombent toujours pas. D'ailleurs, même si ces sujets font l'objet de timides avancées, la nouvelle norme ISO 9001 [ISO, 2008] de novembre 2008 ne les intègre toujours pas en tant qu'exigences.

Aussi, même si comme l'énonçait Bertrand LOUAPRE [Louapre, 1992], l'objet de tout industrialisateur est de parvenir au plus près de l'excellence sur les 3 sommets du triangle de la qualité que sont la conformité, le coût et le délai, dans cet ouvrage nous resterons sur le domaine classique du qualitatif en nous limitant aux problématiques de maîtrise de la conformité, tout en conseillant au lecteur de ne pas négliger les 2 autres axes qui font actuellement l'objet de nombreuses recherches et publications, notamment l'axe « délai » par des approches comme le « lean manufacturing » [Womack, 1996] tout d'abord développé chez TOYOTA [Liker, 2003], puis généralisé à bon nombre de sociétés [Herron, 2008] (on pourra noter que les axes « délais » et « coûts » sont intimement liés comme le montre Ronan Mc Ivor dans l'exemple que cet auteur consacre au lean supply dans le secteur de l'électronique [Mc Ivor, 2001].

3. Procédure d'industrialisation efficace

La méthodologie que nous proposons peut se décliner selon le synoptique ci-dessous :

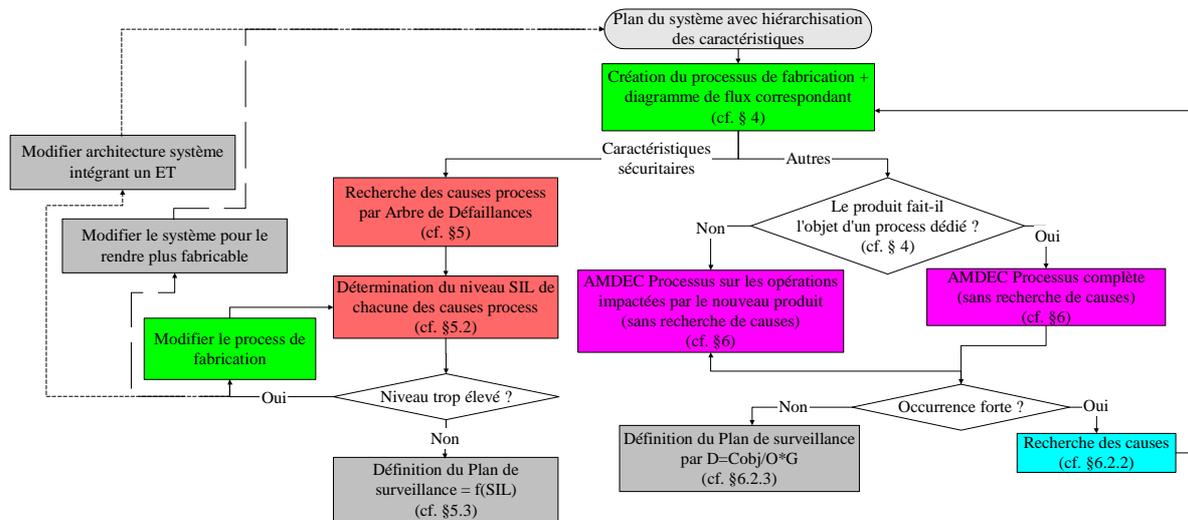


Figure 4.1 : Notre proposition de procédure d'analyse de risque en fabrication

Chacun des outils représentés ci-dessus par une couleur différente fera l'objet d'un paragraphe spécifique (voir les N° de paragraphe dans le synoptique) mettant en avant les innovations que nous proposons dans leur mise en œuvre.

4. Création du processus de fabrication et du diagramme de flux correspondant

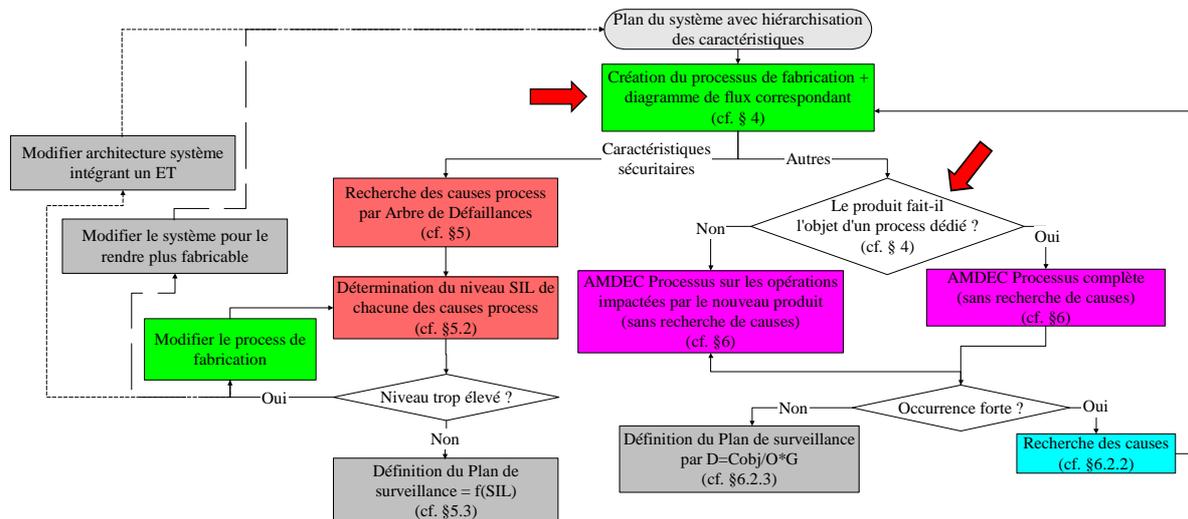


Figure 4.2 : Positionnement du paragraphe

Au chapitre précédent, nous avons énoncé le principe qu'il n'était pas raisonnable, faute de temps, de vouloir faire des analyses de risque, notamment de type AMDEC, sur toutes les fonctions ou tous les composants, mais uniquement sur les parties nouvelles ou celles à

priori fortement impactantes pour le client. Ce principe vaut évidemment également pour la phase industrialisation du produit.

Cependant, la maîtrise de la conformité du produit lors de sa fabrication passe par la mise en œuvre d'un plan de surveillance devant prendre en compte l'ensemble des opérations du flux de production. Or, en accord avec PSA qui énonce dans sa procédure interne qu'« une analyse de risque type AMDEC Processus sert de donnée d'entrée à la construction du plan de surveillance » [PSA, 1997] il serait donc nécessaire de mener ce type d'AMDEC sur l'ensemble des opérations du flux.

Ainsi, tout nouveau processus de fabrication devra faire l'objet d'une analyse de risque type AMDEC. Mais lorsque les lignes de production ne sont pas dédiées à la fabrication d'un produit spécifique, une AMDEC Processus a généralement déjà été réalisée pour le premier produit qu'elle reçoit. Dans ce cas, nous préconisons de ne mener l'analyse de risque que sur les opérations qui diffèrent entre la fabrication du produit 1 et la fabrication du produit 2 ; les opérations communes n'étant pas réanalysées, le plan de surveillance initial concernant ces opérations sera donc maintenu.

Pour avoir une vue globale des opérations du flux et des caractéristiques produit qu'elles génèrent pour l'ensemble des produits qui peuvent passer sur la ligne, nous proposons de construire le diagramme de flux sous la forme d'une matrice opérations / produits, les opérations étant listées en ligne, les différents produits fabriqués par la ligne de production en colonne.

L'industrialisateur cochera d'une croix noire les opérations qui impactent le produit étudié. Par contre, pour bien les repérer, nous proposons d'utiliser un autre code couleur (croix rouge par exemple) pour les opérations génériques nécessitant des actions spécifiques (réglage différent, outillage spécifique, ...). C'est en effet lors de la mise en œuvre de ces actions spécifiques lors d'opérations classiques que l'on s'expose le plus aux risques d'oublis en continuant à travailler normalement, par habitude

Le schéma suivant montre le diagramme de flux relatif à l'ensemble des produits fabricables sur ligne « rasoirs » :

DIAGRAMME FLUX PROCESSUS : GRILLE D'ANALYSE									
Processus : fabrication		Produit : Rasoirs		Pilote : Nicolas S.		Animateur : François F.			
Référence : Ligne 1		Référence : tous		Date : 1/05/09		Ind : A Page :			
OPERATIONS				REFERENCES PRODUITS				CARACTERISTIQUES PRODUIT	
N°	Type	Désignation	Moyens	Rasoir 1 lame	Rasoir 3 lames				
1	⇒	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Cariste	X	X				- Bonne référence lames - Pas de dégradation des lames
2	D	Attente production	Zone attente	X	X				- Pas d'oxydation des lames
10	O	Montages lames sur tête	Manuel	X	X				- Bon nombre de lames - Bon positionnement
20	O	Boutillage contre-lame	Robot	X	X				- Bonne tenue des lames - Bon positionnement de la contre-lame
30	O	Collage lubrifiant	Manuel		X				- Bon positionnement
40	O	Soudage tête sur manche	Soudeuse US	X	X				- Bon positionnement tête / manche - Pas de dégradation aspect
41	□	Contrôle taux de sortie lames	Gabarit	X	X				Ecarter les rasoirs aux lames trop sortie
42	□	Contrôle aspect	Visuel	X	X				Ecarter les rasoirs contenant des défauts d'aspect
43	⇒	Mise en carton	Robot	X	X				- 50 Rasoirs / cartons - Bon rangement
44	⇒	Mise en stock des cartons	Cariste	X	X				Bon endroit
45	▽	Stockage cartons produit finis	Stocqueurs dynamiques	X	X				- Pas de dégradation des cartons

Tableau 4.2 : Diagramme de flux multi-produits

Un tableau de ce type présente deux avantages :

- Il permet à l'industrialisateur de voir quels produits seraient impactés par la modification d'une des opérations du flux (dans notre cas, une modification du poste de collage lubrifiant n'impacterait que le rasoir à 3 lames). Une telle visualisation est très utile notamment dans le cadre d'un potentiel rappel de produits sur le marché du à défaillances causées par un problème process, pour déterminer le nombre de références produits impactés.
- Il visualise parfaitement les opérations spécifiques au nouveau produit (comme le collage lubrifiant dans notre exemple) et les opérations qui nécessitent un traitement particulier pour ledit produit (opérations marquées d'une croix rouge comme le montage des lames sur la tête dans notre exemple). **C'est sur ces opérations singulières et sur celles-ci seules que sera menée l'AMDEC Processus (voir § 6) pour compléter le plan de surveillance générique de la ligne.**

Cependant, même si l'AMDEC est a priori l'outil idéal pour construire le plan de surveillance, nous préconisons d'utiliser l'arbre de défaillance pour construire le plan de surveillances des caractéristiques impactant la sécurité, avant d'utiliser l'AMDEC Processus pour construire le plan de surveillance des autres caractéristiques moins critiques.

5. Traitement des défaillances process pouvant générer des défaillances sécuritaires

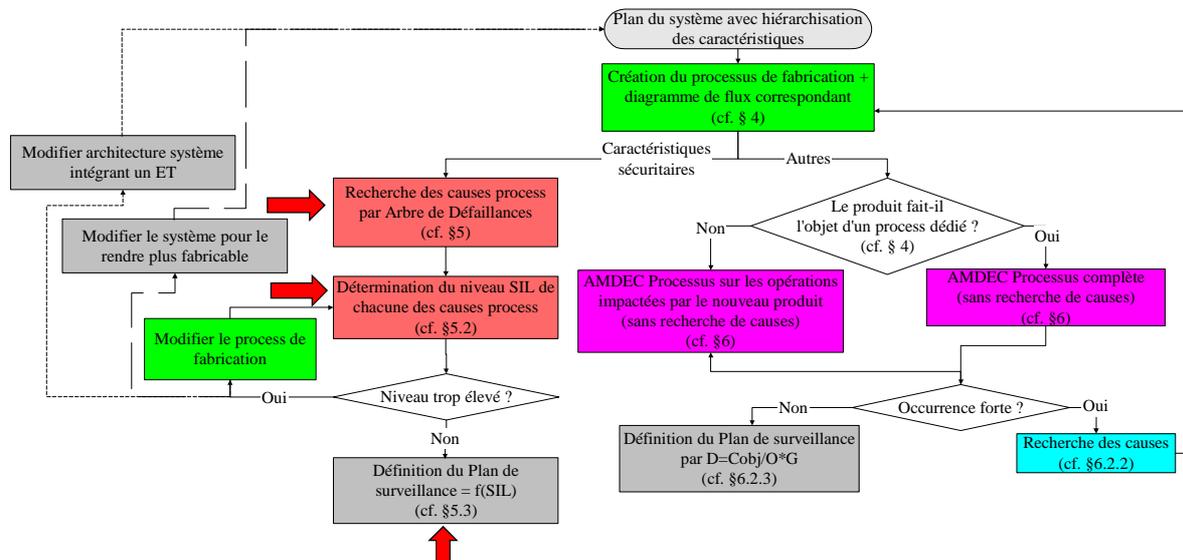


Figure 4.3 : Positionnement du paragraphe

Comme nous l'avons précisé au chapitre 3, l'arbre de défaillance est l'outil le plus pertinent pour envisager l'ensemble des causes pouvant entraîner une défaillance. Cependant, mener une telle étude sur l'ensemble des défaillances possibles et imaginables était inenvisageable pour des raisons évidentes de temps disponible. Cet outil était donc privilégié pour l'analyse des défaillances de type sécuritaire.

En process également l'arbre de défaillances peut être utilisé pour rechercher les causes d'une anomalie. Pour les mêmes raisons, cette approche sera limitée aux anomalies ayant des conséquences de type sécuritaire.

5.1. Construction de l'arbre de défaillance avec les causes process

Notre approche consiste à repartir de l'arbre de défaillance réalisé en conception pour le prolonger par des causes générées par le processus de fabrication. Ainsi, l'arbre de défaillance du rasoir relatif à la défaillance « dégradation de la peau de l'utilisateur » que nous avons réalisé en conception, était le suivant (voir paragraphe 5 du chapitre 3) :

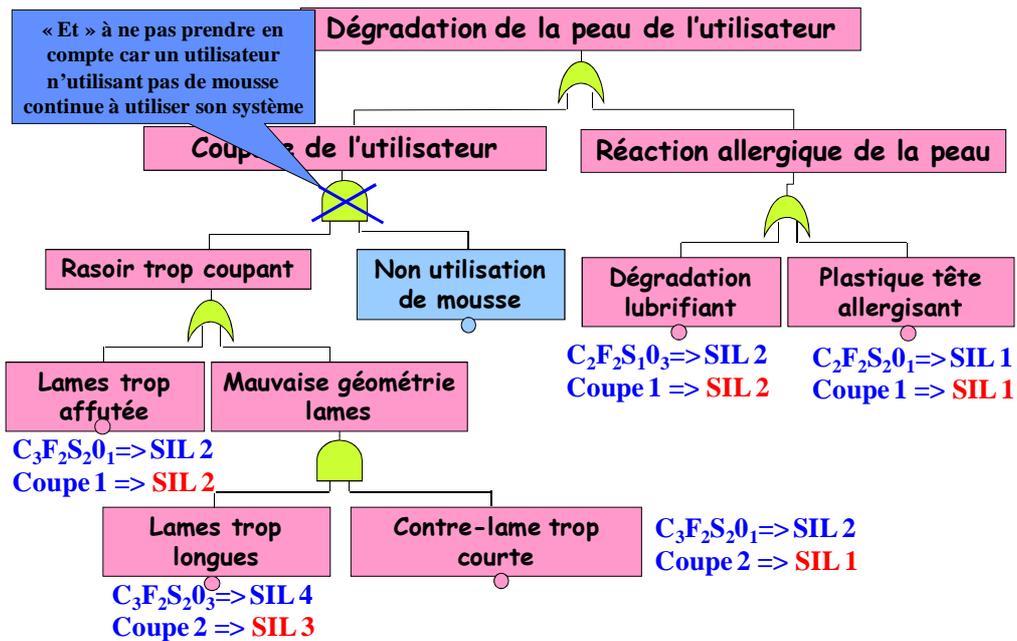


Figure 4.4 : Arbre de défaillance de notre rasoir réalisé en phase conception

A partir de cet arbre, le groupe industrialisation a recherché les causes process qui pourraient engendrer les causes initiales notifiées par l'équipe conception. Ces causes process peuvent être de plusieurs ordres :

- Causes provenant du processus de fabrication de l'assembleur : Composant absent (oublié), composant mal monté (pas à sa place, à l'envers, pas vissé au couple, etc.), composant dégradé au montage, etc...
- Causes provenant du processus de fabrication du fabricant du composant (fournisseur interne ou externe) : Montage d'un composant potentiellement défectueux car hors tolérances (caractéristiques mécanique, thermique, électrique etc. en dehors des spécifications).

La recherche des causes process en complément de l'arbre de défaillance réalisé en conception a donné l'arbre suivant :

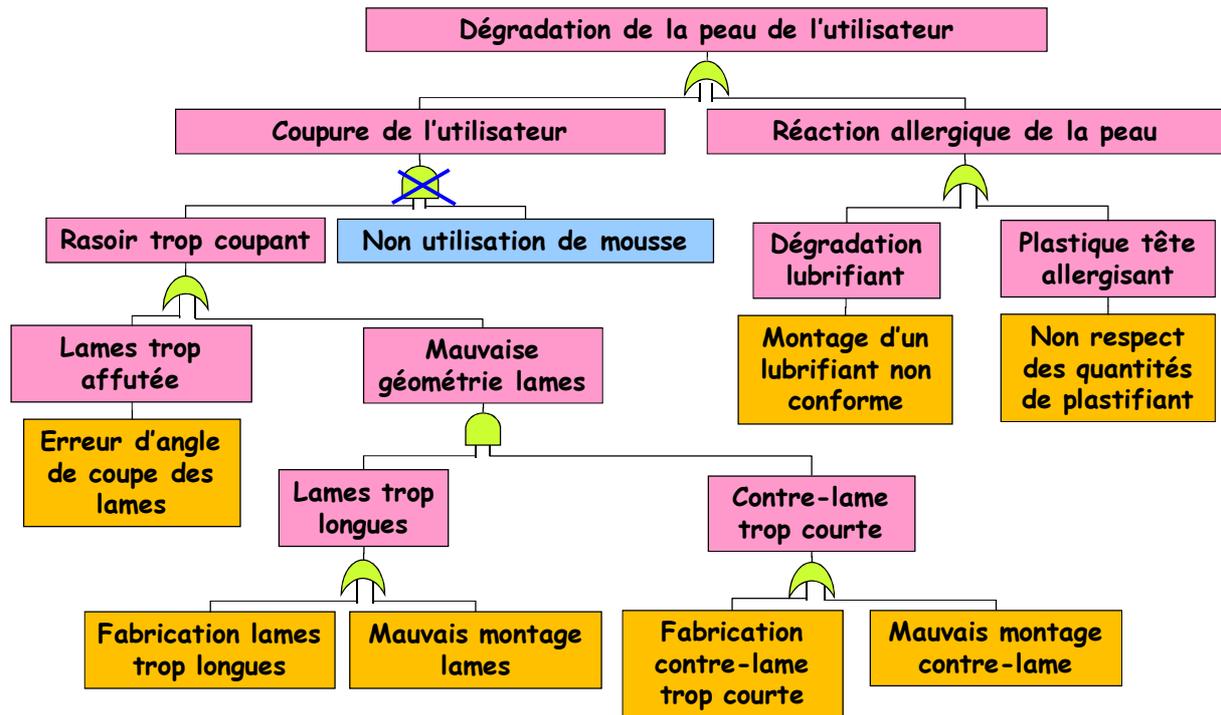


Figure 4.5 : Arbre de défaillance de notre rasoir réalisé en phase conception

Pour une meilleure compréhension de l'arbre de défaillance, nous conseillons de signaler les défaillances process avec un autre code couleur que les défaillances de conception, aussi, sur le schéma ci-dessus des défaillances process sont dessinées en orange.

5.2. Evaluation en SIL des défaillances process

Pour quantifier le risque associé à chacune des défaillances process envisagées, nous proposons de reprendre la cotation en SIL (approche inspirée de la norme CEI 61508 [CEI, 2005]) avec les mêmes grilles que celles utilisées en phase conception afin de garder une cohérence entre les deux

phases :

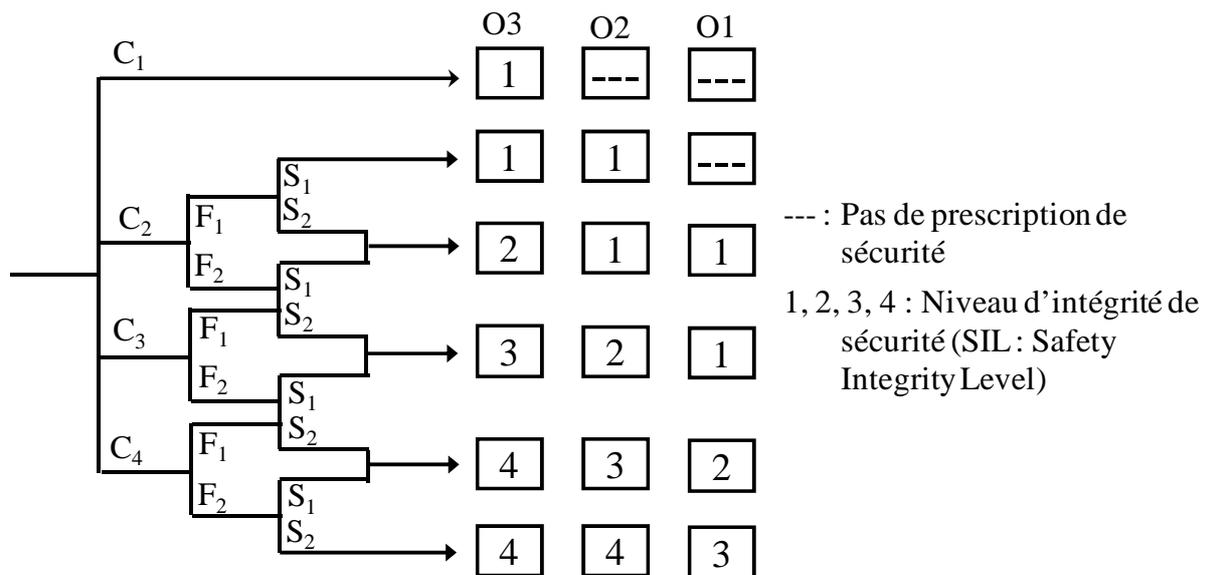


Figure 4.6 : Arbre de définition du niveau SIL issu de la norme CEI 61508

Conséquence	C1	Préjudice mineur (blessure réversible ne générant pas d'arrêt de travail)
	C2	Préjudice majeur (blessure réversible pouvant générer un arrêt de travail)
	C3	Préjudice sérieux (blessure irréversible)
	C4	Risque de décès
Fréquence et durée d'exposition	F1	Exposition temporaire
	F2	Exposition permanente
Signe avant coveur de la défaillance	S1	Signe avant coveur repérable par la plupart des utilisateurs
	S2	Pas de signe avant coveur (ou signe avant coveur repérable seulement par utilisateur avisé)
Occurrence	O1	Probabilité très faible de défaillance (quelques systèmes potentiellement défaillants sur l'ensemble des systèmes produits)
	O2	Faible probabilité de défaillance (plusieurs systèmes défaillants sur l'ensemble des systèmes produits)
	O3	Forte probabilité de défaillance (nombreux systèmes défaillants)

Tableau 4.3 : Notre grille d'évaluation des niveaux SIL inspirée de la norme CEI 61508

Nous rappelons que pour prendre en compte la robustesse de la conception produit et/ou process, nous nous étions donnés la règle suivante en phase conception, règle que nous allons bien évidemment conserver dans notre évaluation finale du niveau SIL :

Le niveau SIL d'une cause est réduit de N-1 crans par niveau de coupe

(N=Niveau de coupe = nombre de causes élémentaires nécessaires pour obtenir le sinistre)

Exemple : une défaillance initialement cotée SIL 3 qui amènerait le sinistre par un « ET » (Niveau de coupe 2) serait abaissée d'un niveau pour être cotée SIL 2.

Ainsi, dans notre exemple, le groupe d'analyse a évalué chaque défaillance process selon les grilles précédentes et a obtenu les niveaux suivants :

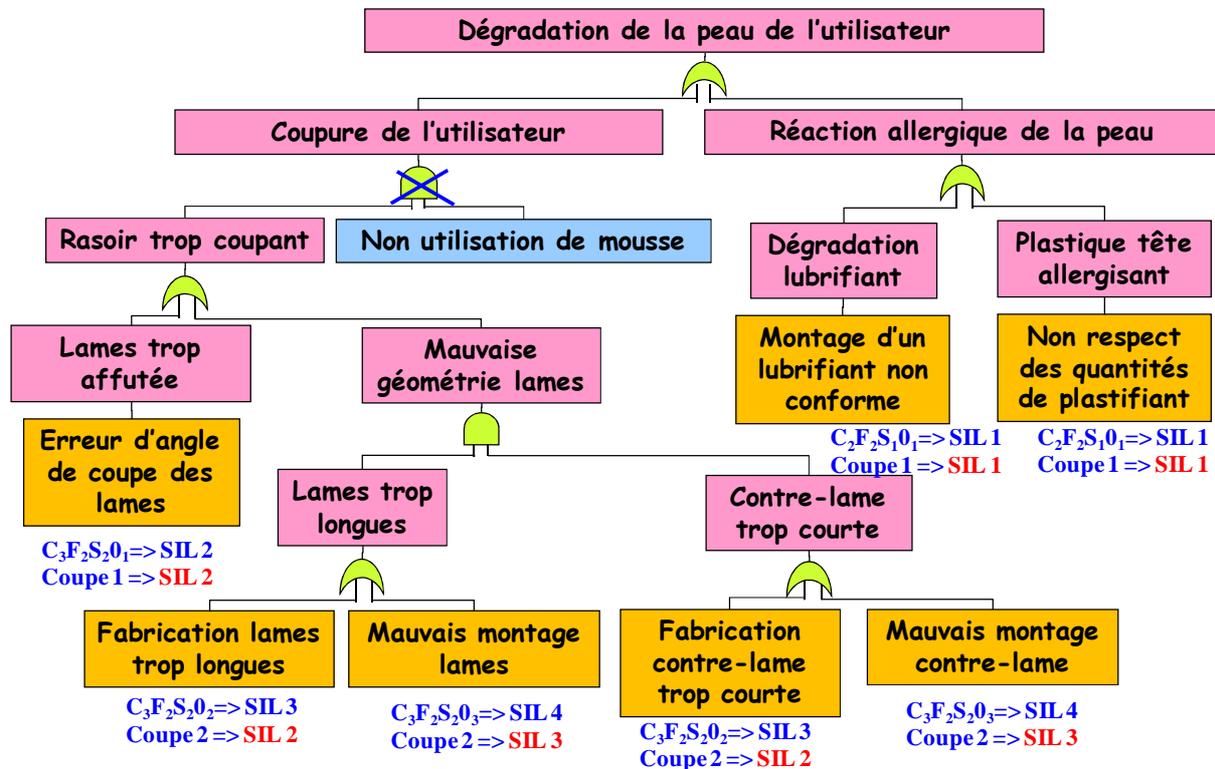


Figure 4.7 : Cotation en SIL de l'arbre de défaillance « process »

5.3. Construction du plan de surveillance en fonction du niveau SIL des défaillances racine

Partant du principe qu'une anomalie process devra être d'autant mieux contrôlée que son niveau de risque (niveau SIL) est très fort, nous proposons le mode de détermination du mode de surveillance en fonction du SIL grâce au tableau suivant :

SIL	Mode de détection
4	SIL 4 interdit => Modifier l'architecture pour introduire un ET dans l'arbre, ou => Modifier la conception du composant pour le rendre plus fabricable, ou => Reprendre le processus de fabrication
3	Contrôle 100 % automatique par machine dans le flux
2	Contrôle 100 % manuel
1	Contrôle par prélèvement statistique
0	Pas de contrôles à prévoir

Tableau 4.4 : Détermination du mode de détection en fonction des niveaux SIL

Ainsi, les anomalies process dont le niveau de risque est le plus élevé, seront contrôlées en temps réel par un système automatique, les moins critiques se limitant à un contrôle par échantillonnage statistique voire pas de contrôle du tout.

Cependant, nous avons rappelé dans l'introduction du présent chapitre que le principe de base d'une bonne industrialisation devrait être de chercher à minimiser les contrôles. En se référant à notre grille, pour réduire les contrôles, charge à l'industrialisateur de faire baisser les niveaux SIL. Pour cela, plusieurs possibilités s'offre à lui :

- Reprendre sa conception en termes d'architecture pour introduire une redondance ou un protecteur, et ainsi réduire son niveau SIL grâce au niveau de coupe généré par les « ET ».
- Reprendre la conception du composant afin de le rendre plus facilement fabricable (prévoir des pions de centrage, des chanfreins, des détrompeurs, etc.) et ainsi pouvoir réduire la note d'occurrence et donc le niveau SIL.
- Reprendre le processus de fabrication (mise en place d'outillage spécifique, changement dans l'ordre de réalisation des opérations, etc.) permettant également de baisser la note d'occurrence et donc le niveau SIL.

On pourra noter que nous avons interdit de laisser en état un niveau SIL 4 (défaillance très fréquente entraînant des conséquences de type sécuritaires sans signe avant coureur auxquelles l'utilisateur est en permanence confronté). Ainsi, dans ce cas, même un contrôle à 100% automatique n'est pas jugé suffisant, chacun étant conscient qu'un contrôle sans taux de fuites, même minimes, n'existe pas. Ici, une action du type de celles décrites ci-dessus devra obligatoirement être menée.

Dans notre exemple, afin de réduire les niveaux SIL dues aux anomalies relatives à la mauvaise géométrie des lames, le groupe industrialisation a décidé de construire un gabarit de montage des lames et de la contre-lame. Ainsi, seul le dérèglement dudit gabarit pourrait entraîner un défaut de montage, ce qui est évidemment assez rare.

De plus, le gabarit envisagé est construit de telle sorte que si les lames sont initialement fabriquées trop longues ou si la contre-lame trop courte, l'opération de montage ne pourra se réaliser. Ce « Poka-Yoke » génère donc un ET dans l'arbre de défaillance (lames trop longue ET dérèglement gabarit), ce qui augmente le niveau de coupe des lames fabriquées et en réduit d'autant le niveau SIL.

L'arbre ci-dessous correspond donc à cette nouvelle façon de construire le rasoir (montage des lames avec un gabarit) :

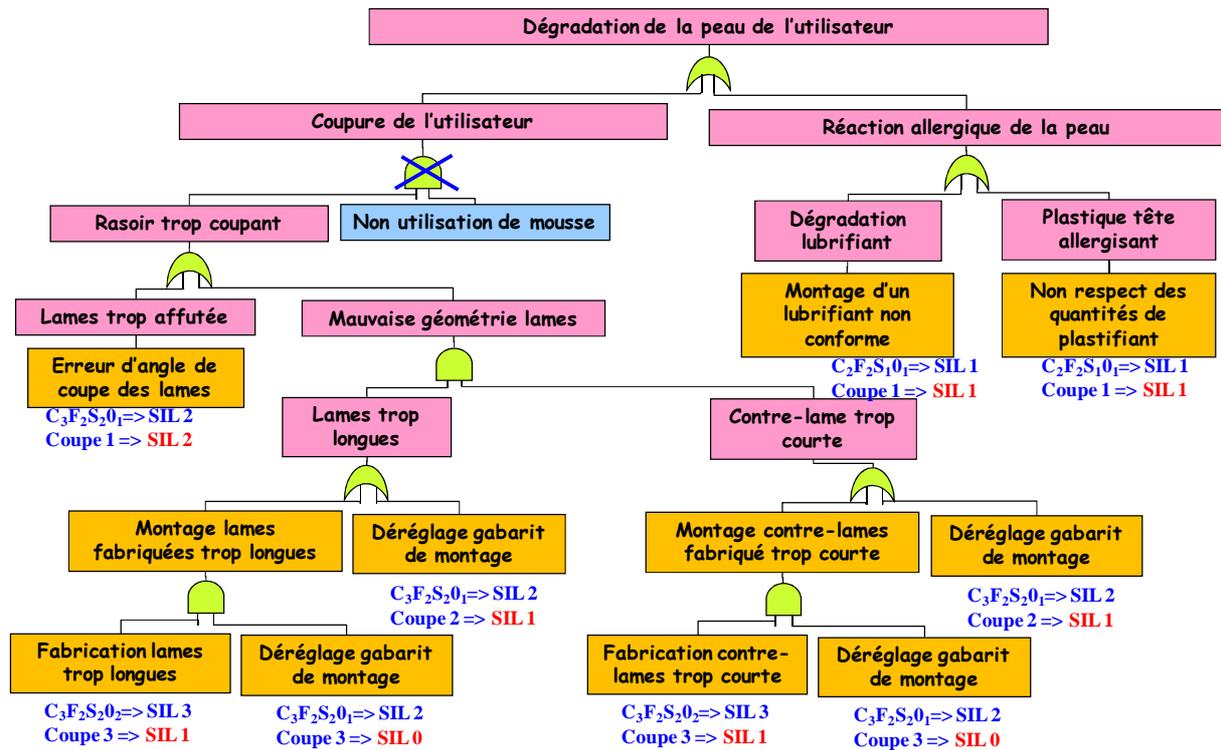


Figure 4.8: Arbre de défaillance « process » modifié

A partir du niveau SIL maintenant évalué, le plan de surveillance se construit en déduction directe de la grille précédente. Le tableau suivant résume les contrôles ainsi définis pour surveiller les anomalies process à effet potentiellement sécuritaires de notre rasoir.

Europe Qualité Services		PLAN DE SURVEILLANCE												
		Produit : Rasoir		Processus : Fabrication			AMDEC : Processus fabrication			Responsable : Nicolas S.				
		Référence : BIC-JET		Référence : ligne 1			Date : 1/05/09 Indice : A			Date : 1/04/09 Indice : A				
N° Opération	Intitulé de l'opération	Caractéristique	Tolérance / limite	CS CC	Responsable du contrôle	Moyen de contrôle	Vérification moyen de contrôle	Opération où est fait le contrôle	Taille du prélèvement	Fréquence du contrôle	Mode opératoire	Mode d'enregistrement	Archivage de l'enregistrement	Action si contrôle non-conforme
10	Montage lames	Angle de coupe des lames	Selon plan	CC	Monteur lames	Gabarit	1 fois par jour	10 : Montage lames	100%	100%	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur lames
		Longueur des lames	Selon plan	CC	Contrôleur d'entrée	Pied à coulisse	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur lames
		Longueur contre-lames	Selon plan	CC	Contrôleur d'entrée	Pied à coulisse	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur contre-lames
		Gabarit de montage	Selon plan	CC	Régleur	Panoplie de pièces	Vérification des pièces types tous les mois	10 : Montage lames	1	1fois / jour	Néant	Sur fiche maintenance TPM	3 ans	Blocage + tri à 100% du lot produit depuis dernier contrôle OK
30	Collage lubrifiant	Nature lubrifiant	Selon nomenclature	CC	Contrôleur d'entrée	Chromatographe	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur lubrifiant
40	Soudage tête sur manche	Tête lubrifiant	Selon nomenclature	CC	Contrôleur d'entrée	Chromatographe	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur têtes

Tableau 4.5 : Plan de surveillance des caractéristiques sécuritaires du rasoir

Ce plan de surveillance ne contenant que les caractéristiques dont les défaillances impacteraient potentiellement la sécurité de l'utilisateur, chaque ligne portera la mention

« CC » pour « Caractéristique Critique ». Ce premier plan de surveillance sera complété de autres caractéristiques « moins critiques » définies à partir de l'AMDEC.

6. Notre approche de détermination du plan de surveillance par l'AMDEC processus

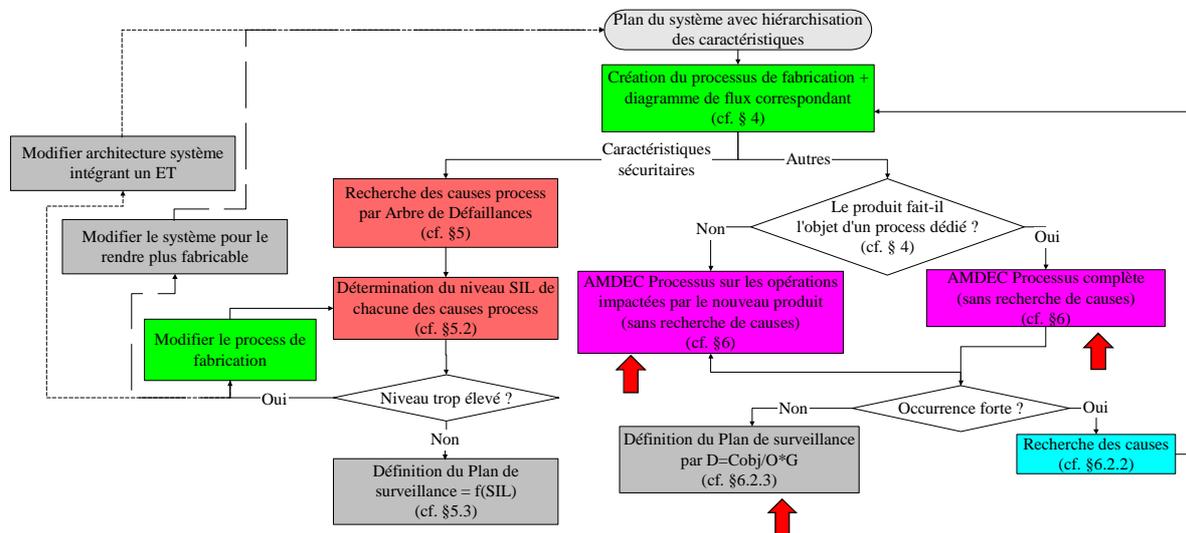


Figure 4.9 : Positionnement du paragraphe

Au dire des industrialisateurs de l'ensemble des entreprises avec lesquelles nous avons travaillé, l'élaboration des plans de surveillance se fait toujours en fonction des analyses de risque de type AMDEC Processus relatives à la fabrication du produit : « Une analyse de risque type AMDEC Processus sert de donnée d'entrée au plan de surveillance » [PSA, 1997]. Cependant, le calcul de la criticité par la formule $C = O \times G \times D$ pose le plan de surveillance comme donnée d'entrée de l'AMDEC et non comme donnée de sortie ! Ceci amène à définir un plan de surveillance prévisionnel de façon préalable ; puis, si l'AMDEC révèle des manques, le plan de surveillance est renchéri de nouveaux contrôles.

Les démarches classiques d'AMDEC processus nécessitent donc une approche séquentielle Plan de surveillance prévisionnel → AMDEC → Plan de surveillance révisé ; approche qui nous paraît coûteuse et peu efficace, et qui engendre notamment trois inconvénients majeurs que nous argumenterons dans ce paragraphe.

1. Non primeur des actions de maîtrise sur les actions de contrôles.
2. Sur-contrôle potentiel, particulièrement cher et anti-flux.
3. Démarche chronophage qui nécessite de façon inutile un plan de surveillance prévisionnel.

Fort de ce constat, nous partirons dans ce paragraphe de l'exemple établi par la méthodologie AMDEC Processus classique pour en pointer les dysfonctionnements ; puis nous proposerons une nouvelle façon de faire consistant à construire les deux livrables que sont l'AMDEC Processus et le plan de surveillance en simultanément. L'objectif de notre approche étant de construire un plan de surveillance au juste nécessaire tout en réduisant les temps d'analyse, par le renforcement de la pertinence de l'analyse AMDEC.

6.1. Problèmes relatifs à l'approche classique

Reprenons l'AMDEC Processus de la fabrication du rasoir réalisée selon l'approche classique telle qu'elle a été décrite dans le chapitre N°2 :

AMDEC Processus : GRILLE D'ANALYSE																			
Processus : Fabrication Référence : ligne 1					Produit : Rasoir Référence : BIC-JET					Flotte : Nicolas S. Date : 1/05/09					Animateur : François F. Indice : A Page :				
DIAGRAMME FLUX : Fabrication rasoir du 1/05/09										SEUIL DE CRITICITE :									
PROCESSIONS (N)	OPERATIONS (libellé)	PRODUIT Anomalie (libellé)	CLIENT Effets de l'anomalie	CS CC	CAUSES DE L'ANOMALIE	ACTIONS DE MAÎTRISE MISES EN ŒUVRE	PLAN DE SURVEILLANCE	NOTES prévu / existant			ACTIONS PREVENTIVES / CORRECTIVES			RESULTATS espérés					
								O	G	D	N°	Responsable	Mesure envisagée	Délai	O	G	D	C	
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	Montage impossible en OP 10		Choc avec transpalette	Sensibilisation caristes	Rien	1	4	10	40								
1		Transfert mauvaise référence lames	Montage impossible en OP 10		Erreur cariste	Sensibilisation caristes	Autocontrôle bordereau	8	4	6	192	1	J. François C.	Mise en place d'un contrôleur qualité en début d'atelier	Sem 35	8	4	2	64
2	Attente production	Oxydation des lames	Mauvais rasage client		Durée d'attente trop longue Environnement humide	Temps d'attente maxi défini à 12h	Contrôle aspect en 10 à 100%	1	4	1	4								
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	Retour client		Erreur monteur	Formation monteur	Contrôle lames en 41	8	6	4	192	2	François B.	Mise en place capteur présence lame	Sem 40	8	6	1	48
		Lames trop sorties	Risque de coupure à l'utilisation	CC	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41	8	10	1	80								
		lames trop rentrées	Mauvais rasage client		Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Contrôle lames en 41	8	4	1	32								
20	Boutillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	Désolidarisation à l'emploi	CS	Profondeur boutillage trop faible	Rien	Contrôle lames en 41	6	8	4	192	3	Ségolène R.	Mise en place butée boutillage	Sem 40	2	8	4	64
		Mauvais positionnement contre-lames	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	Mauvais réglage robot	Rien	Contrôle lames en 41	6	10	4	240	4	Marie-Georges B.	Mise en place d'un gabarit de positionnement contre-lames	Sem 38	2	10	4	80
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	Rasoir inesthétique		Erreur opérateur	Rien	Contrôle aspect en 42	6	3	7	126	5	Olivier B.	Mise en place collage par robot	Sem 40	1	3	7	21
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	Prise de jeu => Inconfort de rasage		Mauvaise fréquence US	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42	2	4	7	56								
		Dégradation aspect tête	Rasoir inesthétique		Pression de soudure trop forte	Maintenance soudeuse US 1fois / mois	Contrôle aspect en 42	3	3	7	63								
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	Client floué		Erreur robot	Rien	Rien	1	7	10	70								
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	Recherche cartons dans stock		Erreur cariste	Feuille de stock	Audit "5S"	3	3	8	72								
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	Cartons invendables => Retour usine		Durée de stockage trop longue Stockage conditions humides Gerbage trop nombreux	Définition temps de stockage maxi et nombre de cartons gerbés maxi	Rien	1	4	10	40								

Tableau 4.6 : AMDEC Processus de la fabrication du rasoir

6.1.1. Problème N°1 : Non primeur des actions de maîtrise sur les actions de contrôles

Ce problème est illustré par les deux premières actions correctives de notre exemple.

De même qu'en AMDEC Produit, pour réduire la criticité d'une anomalie jugée trop importante, l'industrialisateur peut théoriquement jouer sur chacun des critères composant cette variable :

- Pour réduire l'Occurrence, il est nécessaire d'analyser le processus d'élaboration de la caractéristique, d'en définir les paramètres influents et de verrouiller ces paramètres par un système mécanique (notion de Poka-Yoke) ou par un contrôle pertinent desdits paramètres afin qu'ils n'évoluent pas dans le temps. Ce type d'action se traduit forcément par des dépenses d'investissement sur le process.
- Réduire la note de Détection revient à contrôler mieux - ou généralement plus - la caractéristique client. Ainsi cette action se traduit souvent par l'augmentation des fréquences de contrôle ou la mise en place de nouveaux postes de contrôle. Ce type d'action engendre donc nécessairement un accroissement des coûts de fonctionnement du process.
- La Gravité quant à elle, représentant la puissance de l'impact de l'anomalie sur le client, n'est généralement pas modifiable (hors reprise du design de la pièce).

Raisonnement sur la criticité, produit des critères d'Occurrence, de Gravité et de Détection ne privilégie, de fait, aucun de ces trois critères. Ainsi les actions de confinement (réduction du critère D), sont jugées d'efficacité égale aux actions de maîtrise (réduction du critère O).

Partant du postulat que pour ne pas livrer d'anomalies, mieux vaut ne pas les fabriquer, la méthode que nous proposerons dans le sous-paragraphe suivant, privilégie les actions de maîtrise aux actions de contrôle (au sens français du terme) lorsque l'occurrence naturelle de l'anomalie est élevée (supérieure à 5 par exemple) ; et ne conserve les actions de contrôle que pour isoler les quelques anomalies résiduelles potentielles.

Nous pourrions compléter notre argumentaire avec le cas d'espèce présenté à la dernière ligne de l'AMDEC relative à l'opération de montage des lames (opération N°10). La question ici mise en avant est : « Est-il opportun de laisser le processus créer des anomalies, bien qu'il n'y ait pas de risques pour le client ».

Ce problème montre que sur les trois axes de la satisfaction du client (conformité, coût, délai), l'AMDEC classique ne travaille que sur l'axe conformité. Ainsi, laisser le processus mettre de la valeur ajoutée sur des pièces non-conformes pénalise inévitablement l'axe coût. Ceci ne peut donc être acceptable qu'à titre exceptionnel. Aussi, la méthode que nous proposons ne préconise cette approche que lorsque l'occurrence naturelle est faible (en dessous de 5 par exemple).

6.1.2. Problème N°2 : Sur-contrôle potentiel

Ce problème est illustré par les lignes relatives à l'opération N°2 de notre exemple.

Ces lignes montrent un niveau de criticité de 4 obtenu par une Occurrence de 1, une Gravité de 4 et une Détection de 1.

Ainsi, notre industrialisateur a décidé de contrôler de façon très poussée (contrôle à 100% donnant une note de détection de 1) une anomalie potentielle, alors qu'il n'arrive jamais (occurrence à 1) ! Le contrôle étant invariablement un anti-flux et un générateur de coûts, nous sommes là face à un exemple typique de sur-qualité.

La méthode que nous proposons au paragraphe 6.1.3 définit l'effort de détection à fournir en fonction de l'occurrence et de la gravité par la formule :

$$D = \frac{C}{O \times G}$$

6.1.3. Problème N°3 : Perte de temps dans la réalisation des AMDEC

Ce problème est également illustré par les lignes relatives à l'opération N°2 de notre exemple.

A l'analyse de ces lignes, on peut se poser la question suivante : « Est-il intéressant de rechercher les causes d'un défaut qui n'arrive jamais (ou quasi jamais) ? ».

La réponse est évidemment non. Aussi, nous proposons de limiter la recherche des causes aux anomalies à occurrence forte (supérieure à 5 par exemple). Cette recherche de cause, étant limitée à un nombre réduit d'anomalies, peut être effectuée de la façon la plus poussée qui soit, sans être antinomique avec la notion d'industrialisation rapide.

6.2. Notre approche pour réaliser les AMDEC Processus

Tout comme l'approche que nous avons proposée en conception, la méthode que nous proposons ici vise à rédiger un plan de surveillance, en simultané avec l'AMDEC Processus,

tel qu'il soit dimensionné au juste nécessaire de façon à ce que chaque anomalie potentielle soit traitée à « ISO-Risque ».

Les grandes étapes sont les suivantes :

1. Rechercher les anomalies potentielles et en rechercher les effets par une approche AMDEC classique.
2. Coter l'occurrence de ces anomalies et rechercher une Action Corrective **pour réduire les occurrences les plus fortes.**
3. Définir le plan de surveillance nécessaire et suffisant pour obtenir **l'objectif de criticité souhaité**

6.2.1. Recherche des anomalies potentielles

Comme pour l'AMDEC Classique, nous proposons de commencer par la recherche exhaustive des anomalies potentielles qui pourraient être générées à chaque opération élémentaire du processus. Ces anomalies correspondent à la non-réalisation des données de sortie desdites opérations (l'enchaînement et la détermination des données de sortie de chacune des opérations élémentaires étant caractérisés par le diagramme de flux).

Nous recherchons ensuite les effets de ces défauts au niveau du client (et ce à quelque niveau de client que ce soit : opérations aval internes, client aval externe, final, ou état).

Puis, et dès à présent, nous cotons l'occurrence et la gravité de chacune des anomalies recensées sur une échelle classique allant de 1 à 10.

L'ordre des étapes étant ici modifié par rapport à l'AMDEC classique, nous proposons un nouveau formulaire d'analyse qui bouleverse l'ordre des colonnes pour le mettre en phase avec notre approche comme le montre le dessin ci-après.

EQS	AMDEC PROCESSUS	Client		Produit		Processus		Doc No :		0						
		EQS		BIC JET		Assemblage rasoir		Indice :		Rev 1						
Demandeur	Nicolas S.	CC : C. Critique		N° AMDEC	1	Date	14/07/07	Page :								
Animateur	François F.	CS : C. Spéciale		Ind. AMDEC	A	Seuil d'occurrence	5	Objectif criticité								
Flux	DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS					SURVEILLANCE		Résultat				
N°	Opération	Anomalies Potentielles - O -	O	Effets anomalies (Effets potentiels) - G -	CC CS	G	Causes anomalies	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	D cal	Détection (plan de surveillance) - D -	D réel	C	VJR
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	1	Montage impossible en OP 10		4										
		Transfert mauvaise référence lames	8	Montage impossible en OP 10		4										
2	Attente production	Oxydation des lames	1	Mauvais rasage client		4										
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	8	Retour client		6										
		Lames trop sorties	8	Risque de coupure à l'utilisation	CC	10										
		lames trop rentrées	8	Mauvais rasage client		4										
20	Boutroillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	6	Désolidarisation à l'emploi	CS	8										
		Mauvais positionnement contre-lames	6	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	10										
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	6	Rasoir inesthétique		3										
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	2	Prise de jeu => Inconfort de rasage		4										
		Dégradation aspect tête	3	Rasoir inesthétique		3										
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	1	Client floué		7										
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	3	Recherche cartons dans stock		3										
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	1	Cartons invendables => Retour usine		4										

Tableau 4.7 : Recherche des anomalies et des effets dans notre formulaire d'AMDEC Processus

6.2.2. Rechercher des Actions correctives pour réduire les occurrences les plus élevées

Comme nous l’avons dit au chapitre 2, la recherche des causes est une étape primordiale pour la bonne connaissance du processus. Cependant, cette recherche de causes nécessite généralement de longues analyses pour être pertinente (Brainstorming, plan d’expériences, etc...). Aussi, dans un souci d’efficience, il nous semble qu’elle doit être limitée aux anomalies qui ont le plus de chances d’arriver...

Nous proposons donc de **fixer un seuil d’occurrence** à partir duquel il est nécessaire de lancer la recherche des causes (la valeur 5, milieu des grilles classiques, nous semble une bonne valeur, mais il appartient au groupe de définir le seuil qui lui semble le plus pertinent en fonction de ses objectifs qualité et de ses grilles de cotation de l’occurrence).

Dans l’exemple de notre rasoir, la recherche des causes pour les anomalies dont l’occurrence est supérieure ou égale à 5 a donné les résultats suivants :

EQS	AMDEC PROCESSUS	Client		Produit		Processus		Doc No. :	0							
		EQS		BIC JET		Assemblage rasoir		Indice :	Rev 1							
Demandeur	Nicolas S.	CC : C. Critique		N° AMDEC	1	Date	14/07/07	Page :								
Animateur	François F.	CS : C. Spéciale		Ind. AMDEC	A	Seuil d'occurrence	5	Objectif criticité								
Flux	DESCRIPTION DU DEFAULT				ACTIONS				SURVEILLANCE			Résultat				
N°	Opération	Anomalies Potentielles -O-	O	Effets anomalies (Effets potentiels) -G-	CC CS	G	Causes anomalies	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	D cal	Détection (plan de surveillance) -D-	D réel	C	VJR
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	1	Montage impossible en OP 10		4										
		Transfert mauvaise référence lames	8	Montage impossible en OP 10		4	Erreur cariste									
2	Attente production	Oxydation des lames	1	Mauvais rasage client		4										
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	8	Retour client		6	Erreur monteur									
		Lames trop sorties	8	Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Gabarit pose déréglé									
		lames trop rentrées	8	Mauvais rasage client		4	Gabarit pose déréglé									
20	Boutillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	6	Désolidarisation à l'emploi	CS	8	Profondeur boutillage trop faible									
		Mauvais positionnement contre-lames	6	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Mauvais réglage robot									
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	6	Rasoir inesthétique		3	Erreur opérateur									
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	2	Prise de jeu => Inconfort de rasage		4										
		Dégradation aspect tête	3	Rasoir inesthétique		3										
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	1	Client floué		7										
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	3	Recherche cartons dans stock		3										
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	1	Cartons invendables => Retour usine		4										

Tableau 4.8 : Recherche des causes pour les anomalies à occurrence les plus élevées

La cause connue, reste à définir le moyen d’éviter sa survenue ou mieux, de l’éradiquer purement et simplement. Ainsi, en opération 30 (collage) du processus de réalisation de notre rasoir, le groupe a décidé d’investir dans un robot de positionnement de la plaquette lubrifiante en lieu et place de l’opérateur, supprimant par là-même les erreurs de positionnement de la plaquette lubrifiante due à une inattention opérateur.

Pour les opérations où la suppression de la cause du défaut est impossible, charge à l’industrialisateur de trouver une action corrective qui en réduise la fréquence d’apparition. Ainsi pour limiter le taux d’erreurs des monteurs de lames (OP10), il a été décidé de procéder à une nouvelle formation des titulaires du poste de montage.

Les actions envisagées, le groupe de travail devra **redéfinir les nouvelles occurrences** des anomalies telles qu’elles devraient être après la mise en place desdites actions.

Le tableau ci-après montre l'évolution de notre analyse AMDEC à ce stade :

EQS		AMDEC PROCESSUS		Client		Produit		Processus		Doc No :		0				
Demandeur		Nicolas S.		EQS		BIC JET		Assemblage rasoir		Indice :		Rev 1				
Animateur		François F.		CC : C. Critique CS : C. Spéciale		N° AMDEC		Date		14/07/07		Page :				
Flux		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat		
N°	Opération	Anomalies Potentielles -O-	O	Effets anomalies (Effets potentiels) -G-	CC CS	G	Causes anomalies	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	D cal	Détection (plan de surveillance) -D-	D réel	C	VJR
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	1	Montage impossible en OP 10		4										
		Transfert mauvaise référence lames	8	Montage impossible en OP 10		4	Erreur cariste	Sensibilisation caristes	Sem 25	J. François C.	3					
2	Attente production	Oxydation des lames	1	Mauvais rasage client		4										
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	8	Retour client		6	Erreur monteur	Formation monteur	Sem 25	J. François C.	3					
		Lames trop sorties	8	Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Sem 40	François B.	2					
		lames trop rentrées	8	Mauvais rasage client		4	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Sem 40	François B.	2					
20	Boutroillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	6	Désolidarisation à l'emploi	CS	8	Profondeur boutroillage trop faible	Mise en place butée boutroillage	Sem 40	Ségolène R.	3					
		Mauvais positionnement contre-lames	6	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Mauvais réglage robot	Mise en place d'un gabarit de positionnement contre-lames	Sem 38	Marie-Georges B.	4					
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	6	Rasoir inesthétique		3	Erreur opérateur	Mise en place collage par robot	Sem 40	Olivier B.	1					
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	2	Prise de jeu => Inconfort de rasage		4										
		Dégradation aspect tête	3	Rasoir inesthétique		3										
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	1	Client floué		7										
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	3	Recherche cartons dans stock		3										
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	1	Cartons invendables => Retour usine		4										

Tableau 4.9 : Recherche des Actions Correctives pour les anomalies à occurrence les plus élevées

6.2.3. Construction du plan de surveillance au juste nécessaire

Considérant que **plus la détection est loin dans le flux, plus elle est large en spectre** (elle détecte tous les défauts produits plus en amont), il serait donc judicieux de positionner le contrôle de la caractéristique le plus près possible du client final, au contrôle final par exemple. Mais, **plus la détection est loin dans le flux, plus on va mettre de la valeur ajoutée sur une pièce qui sera jugée non conforme**. Cependant, ce point n'est pas préjudiciable si les pièces non-conformes sont peu nombreuses.

L'approche que nous préconisons est donc de définir la position du contrôle des caractéristiques en fonction de l'occurrence et de la gravité de chacune des anomalies correspondantes de telle façon que chacune de ces caractéristiques soit traitée à ISO-risque. Ainsi, nous proposons de suivre la méthodologie suivante :

1. Se fixer un niveau de risque objectif (objectif de criticité) : C_{obj}.
2. Calculer le niveau de détection nécessaire et suffisant par la formule $D = \frac{C_{obj}}{O \times G}$.

- Définir la position de la détection grâce à notre grille de cotation évaluée en fonction de la position du contrôle dans le flux :

Positionnement de la détection	Note
Détection à coup sûr à l'opération génératrice du défaut	1
Détection à coup sûr à l'opération suivant l'opération génératrice du défaut	3
Détection à coup sûr en interne	5
Détection à coup sûr au contrôle final	7
Pas de détection	10

Tableau 4.10 : notre grille de détermination de la position du contrôle en fonction de la note de détection

Ainsi, dans notre exemple, nous nous sommes fixés un objectif de criticité de 100. La position des différentes détections définies en fonction de l'occurrence et de la gravité des anomalies a donné le résultat suivant :

Se fixer un objectif de criticité !

EQS	AMDEC PROCESSUS	Client	Produit	Processus														
		EQS	BIC JET	Assemblage rasoir														
Demandeur	Nicolas S.	CC : C. Critique	N° AMDEC	Date	14/07/2014												Page :	
Animateur	François F.	CS : C. Spéciale	Ind. AMDEC	Seuil d'occurrence	5												Objectif criticité	
																		100
Flux		DESCRIPTION DU DEFAUT				ACTIONS				SURVEILLANCE				Résultat				
N°	Opération	Anomalies Potentielles - O -	O	Effets anomalies (Effets potentiels) - G -	CC	G	Causes anomalies	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	D cal	Détection (plan de surveillance) -D-	D réel	C	VJR		
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	1	Montage impossible en OP 10		4						25	Rien	10	40	v		
		Transfert mauvaise référence lames	8	Montage impossible en OP 10		4	Erreur cariste	Sensibilisation caristes	Sem 25	J. François C.	3	8.33	Contrôle au contrôle final	7	84	j		
2	Attente production	Oxydation des lames	1	Mauvais rasage client		4						25	Rien	10	40	v		
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	8	Retour client		6	Erreur monteur	Formation monteur	Sem 25	J. François C.	3	5.56	Détection en interne	5	90	j		
		Lames trop sorties	8	Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Sem 40	François B.	2	5	Détection en interne	5	100	j		
		lames trop rentrées	8	Mauvais rasage client		4	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Sem 40	François B.	2	12.5	Détection en interne (même contrôle que ci-dessus)	5	40	v		
20	Boutillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	6	Désolidarisation à l'emploi	CS	8	Profondeur boutillage trop faible	Mise en place butée boutillage	Sem 40	Ségolène R.	3	4.17	Détection à l'OP suivante (OP30)	3	72	v		
		Mauvais positionnement contre-lames	6	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Mauvais réglage robot	Mise en place d'un gabarit de positionnement contre-lames	Sem 38	Marie-Georges B.	4	2.5	Détection à l'opération	1	40	v		
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	6	Rasoir inesthétique		3	Erreur opérateur	Mise en place collage par robot	Sem 40	Olivier B.	1	33.3	Rien	10	30	v		
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	2	Prise de jeu => Inconfort de rasage		4						12.5	Rien	10	80	j		
		Dégradation aspect tête	3	Rasoir inesthétique		3							11,1	Rien	10	90	j	
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	1	Client floué		7						14,3	Rien	10	70	v		
44												11,1	Rien	10	90	j		
45												25	Rien	10	40	v		

Déterminer le niveau de détection nécessaire et suffisant pour obtenir l'objectif de criticité donné par $D=C_{objectif}/O \times G$

Tableau 4.11 : Détermination de la position du contrôle en fonction de la note de détection

Comme il se peut que par facilité, on positionne un contrôle plus tôt que ce que le calcul prévoit (il est évident ici qu'on contrôlera les lames trop sorties au même endroit que les lames trop rentrées), nous proposons de recalculer la note de criticité finale en fonction du

niveau de détection réellement appliqué. Un petit indicateur visuel (Vert, Jaune, Rouge) peut alors être prévu en bout de ligne qui s’affiche selon les règles suivantes :

- Rouge : Criticité obtenue supérieure à la criticité objectif.
- Jaune : Criticité obtenue comprise entre la criticité objectif et 80% de cette valeur.
- Vert : Criticité obtenue inférieure à 80% de la criticité objectif.

La position du contrôle définie, reste à définir le mode de détection (SPC, contrôle à 100 %, etc...).

Considérant que le **meilleur mode de détection d’une anomalie dépend du mode de défaillance du processus qui a entraîné cette anomalie**, nous proposons de définir le meilleur mode de détection grâce notre grille de choix inédite (voir ci-dessous) qui prend en compte :

- Le type d’anomalie étudiée (décalage en position, augmentation de dispersion ou défaut erratique)
- la façon dont l’anomalie apparaît (brutale ou en dérive),
- la réversibilité de cette anomalie au niveau du processus (nous appelons un défaut réversible un défaut qui cesse tout seul sans intervention humaine, et un défaut irréversible un défaut qui nécessite une intervention au niveau du processus pour cesser de ce produire),
- le caractère prévisible ou non du phénomène (présence d’un événement causal ou non).

Position	Brutale		- Redémarrage machine (mise en stabilisation)		- Erreur outil - Erreur lot MP - Changement consignés		Capeau collé sur butée quelques temps		- Casse outil - Collision pièces
		Contrôle 1ère pièce produite après événement causal	- Contrôle 1ères pièces produites après événement causal - Poka -Yoke	- Contrôle 100% (sur caractéristique ou paramètre) - SPC mesure (moyenne), fréquence rapide	- Contrôle libératoire : Prélèvement + tri arrière si NC - SPC mesure (moyenne)				
	Dérive		- Redémarrage machine (mise en stabilisation)		Réglage machine au démarrage sans attente sa stabilisation		- Contamination puis dilution - Problème régulation - Variation conditions ambiantes		- Usure outil - Encrassement filtre - dérèglage machine
		SPC mesure (moyenne) avec prélèvements rapprochés suite à événement causal	SPC mesure (moyenne) avec prélèvements rapprochés suite à événement causal	- SPC mesure (moyenne), fréquence rapide	- SPC mesure (moyenne)				
Dispersion	Brutale		- Redémarrage machine (mise en stabilisation)		Défauts de localisation suite à outil mal centré dans la broche		Mise en raisonnance suite au démarrage d'une autre machine		- Casse d'un guidage machine
		Contrôle dispersion sur échantillon suite à événement causal	Contrôle dispersion sur échantillon suite à événement causal	- SPC mesure (dispersion), fréquence rapide	- SPC Mesure (dispersion)				
	Dérive		- Redémarrage machine (mise en stabilisation)		Mauvais serrage outil après changement		- Problème régulation - Variation conditions ambiantes		- Usure d'un foret - Prise de jeux
		SPC mesure (dispersion) avec prélèvements rapprochés suite à événement causal	SPC mesure (dispersion) avec prélèvements rapprochés suite à événement causal	- SPC mesure (dispersion), fréquence rapide	- SPC Mesure (dispersion)				
Erratique		sans objet		Sans objet		- Oubli / Erreur humaine - Pollution ponctuelle MP - Capeau collé		Sans objet	
					- Contrôle 100% auto (sur caractéristique ou paramètre) - Poka-Yoke - SPC attributs ou contrôle selon ISO2859-1				
Redescente		Réversible		Irréversible		Réversible		Irréversible	
Prévisibilité		Prévisible				Imprévisible			

Tableau 4.12 : Définition du meilleur mode de détection en fonction du mode de défaillance process

Ainsi, eu égard aux modes de défaillances analysés, le groupe de travail a décidé de mettre en œuvre les modes de détection suivants :

EQS	AMDEC PROCESSUS	Client			Produit			Processus			Doc No :		0			
		EQS			BIC JET			Assemblage rasoir			Indice :		Rev 1			
Demandeur	Nicolas S.	CC : C. Critique			N° AMDEC	1		Date	14/07/07		Page :					
Animateur	François F.	CS : C. Spéciale			Ind. AMDEC	A		Seuil d'occurrence	5		Objectif criticité		100			
Flux	DESCRIPTION DU DEFAULT					ACTIONS					SURVEILLANCE				Résultat	
N°	Opération	Anomalies Potentielles -O-	O	Effets anomalies (Effets potentiels) -G-	CC CS	G	Causes anomalies	Mesures prises	Délai	Responsable	O'	D cal	Détection (plan de surveillance) -D-	D réel	C	VJR
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Dégradation des lames	1	Montage impossible en OP 10		4						25	Rien	10	40	v
		Transfert mauvaise référence lames	8	Montage impossible en OP 10		4	Erreur cariste	Sensibilisation caristes	Sem 25	J. François C.	3	8,33	Contrôle libératoire de la référence lames 1 fois / lot en OP 42 (contrôle final)	7	84	j
2	Attente production	Oxydation des lames	1	Mauvais rasage client		4						25	Rien	10	40	v
10	Montage des lames	Oubli d'une lame	8	Retour client		6	Erreur monte	Formation monte	Sem 25	J. François C.	3	5,56	Contrôle à 100% du Nb de lames par caméra en OP41 (Détection en interne)	5	90	j
		Lames trop sorties	8	Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Sem 40	François B.	2	5	Contrôle à 100% de la position des lames par caméra en OP41 (Détection en interne)	5	100	j
		lames trop rentrées	8	Mauvais rasage client		4	Gabarit pose déréglé	Maintenance gabarit pose 1fois / mois	Sem 40	François B.	2	12,5	Contrôle à 100% de la position des lames par caméra en OP41 (Détection en interne)	5	40	v
20	Boutroillage contre-lame	Mauvais clippage des lames	6	Désolidarisation à l'emploi	CS	8	Profondeur boutroillage trop faible	Mise en place butée boutroillage	Sem 40	Ségolène R.	3	4,17	Détection par SPC mesure sur la profondeur de boutroillage à l'OP suivante (OP30)	3	72	v
		Mauvais positionnement contre-lames	6	Lames trop sortie => Risque de coupure à l'utilisation	CC	10	Mauvais réglage robot	Mise en place d'un gabarit de positionnement contre-lames	Sem 38	Marie-Georges B.	4	2,5	Contrôle des 1ères pièces produites après chaque réglage robot par opérateur OP20 (détection à l'opération)	1	40	v
30	Collage lubrifiant	Mauvais positionnement lubrifiant	6	Rasoir inesthétique		3	Erreur opérateur	Mise en place collage par robot	Sem 40	Olivier B.	1	33,3	Rien	10	30	v
40	Soudage tête sur manche	Mauvais positionnement tête / manche	2	Prise de jeu => Inconfort de rasage		4						12,5	Rien	10	80	j
		Dégradation aspect tête	3	Rasoir inesthétique		3						11,1	Rien	10	90	j
43	Mise en carton	Oubli d'un rasoir dans carton	1	Client floué		7						14,3	Rien	10	70	v
44	Mise en stock des cartons	Rangement au mauvais endroit	3	Recherche cartons dans stock		3						11,1	Rien	10	90	j
45	Stockage cartons produits finis	Dégradation des cartons	1	Cartons invendables => Retour usine		4						25	Rien	10	40	v

Tableau 4.13 : Mode de détection des anomalies de fabrication de notre rasoir

Les points « Que contrôler ? », « Où contrôler ? » et « Comment contrôler ? » du plan de surveillance étant ainsi définis, il ne reste plus qu'à compléter les autres rubriques pour finaliser le document.

Le plan de surveillance ainsi créé par le groupe est présenté ci-dessous. Ce plan de surveillance complète celui réalisé avec l'arbre de défaillance pour les défaillances critiques. Afin de bien visualiser les surveillances mises en œuvre suite à l'analyse AMDEC, nous les avons mises en rouge.

Europe Qualité Services		PLAN DE SURVEILLANCE												
		Produit : Rasoir			Processus : Fabrication			AMDEC : Processus fabrication			Responsable : Nicolas S.			
		Référence : BICJET			Référence : ligne 1			Date : 1/05/09			Indice : A			
N° Opération	Intitulé de l'opération	Caractéristique	Tolérance / limite	CS CC	Responsable du contrôle	Moyen de contrôle	Vérification moyen de contrôle	Opération où est fait le contrôle	Taille du prélèvement	Fréquence du contrôle	Mode opératoire	Mode d'enregistrement	Archivage de l'enregistrement	Action si contrôle non-conforme
1	Transfert carton lames du stock MP vers zone production	Référence lames	Selon plan		Contrôleur final	Visuel	Néant	42 : Contrôle aspect	1 pièce	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage pièces fabriquées depuis démarrage du lot
10	Montage lames	Angle de coupe des lames	Selon plan	CC	Monteur lames	Gabarit	1 fois par jour	10 : Montage lames	100%	100%	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur lames
		Longueur des lames	Selon plan	CC	Contrôleur d'entrée	Pied à coulisse	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur lames
		Longueur contre-lames	Selon plan	CC	Contrôleur d'entrée	Pied à coulisse	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur contre-lames
		Gabarit de montage	Selon plan	CC	Régleur	Panoplie de pièces	Vérification des pièces types tous les mois	10 : Montage lames	1	1fois / jour	Néant	Sur fiche maintenance TPM	3 ans	Blocage + tri à 100% du lot produit depuis dernier contrôle OK
		Nombre de lames montées	Selon plan		Automatique	Caméra	Passage pièce type 1 fois / équipe	41 : Contrôle sortie lames	100%	100%	Néant	Néant	Néant	Ejection pièces non-conforme
		Taux de sortie des lames	Selon plan	CC	Automatique	Caméra	Passage pièce type 1 fois / équipe	41 : Contrôle sortie lames	100%	100%	Néant	Néant	Néant	Ejection pièces non-conforme
20	Boutillage contre-lame	Profondeur boutillage	Selon plan	CS	Opérateur	Jauge profondeur	Etalonnage 1fois/an	30 : Collage lubrifiant	5 pièces	1 fois par heure	Procédure SPC	Carte de contrôle	3 ans	Blocage + tri à 100% des pièces produites depuis dernier contrôle OK
		Position contre-lame	Selon plan	CC	Opérateur	Gabarit	Etalonnage 1fois/an	20 : boutillage	5 pièces	Après chaque réglage robot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage + tri à 100% des pièces produites depuis dernier contrôle OK
30	Collage lubrifiant	Nature lubrifiant	Selon nomenclature	CC	Contrôleur d'entrée	Chromatographe	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur lubrifiant
40	Soudage tête sur manche	Tête lubrifiant	Selon nomenclature	CC	Contrôleur d'entrée	Chromatographe	Etalonnage 1fois/an	Contrôle d'entrée	5 pièces	1 fois par lot	Néant	NC sur fiche d'anomalie	3 ans	Blocage du lot + retour fournisseur têtes

Tableau 4.14 : Plan de surveillance terminal du processus de réalisation de notre rasoir

L'approche que nous avons présentée ci-dessus permet d'accroître considérablement l'intérêt de l'AMDEC Processus. Plutôt que de voir l'AMDEC comme une validation du processus d'industrialisation, elle devient un élément au cœur de ce processus en fournissant deux livrables forts utiles :

- L'analyse des défaillances potentielles
- La construction du plan de surveillance – au juste nécessaire.

En renforçant les livrables d'une telle analyse, on diminue proportionnellement le coût apparent de celle-ci en la rendant ainsi encore plus attractive.

7. Approche globale de sécurisation d'une industrialisation par la matrice d'impact complète.

La construction du plan de surveillance grâce à l'AMDEC Processus telle que nous l'avons proposée au paragraphe précédent, présente l'avantage de produire un plan de surveillance au juste nécessaire mais conserve un des inconvénients majeurs inhérent à toute approche AMDEC Processus qu'est son aspect chronophage. En effet, l'AMDEC Processus, de par son mode de réalisation qui consiste à suivre les opérations du flux de production, nécessite inmanquablement un temps de réalisation relativement long, pas toujours compatible avec des délais d'industrialisation de plus en plus tirés comme le souligne Kim et Al [Kim 2004]. Aussi, nous proposons ici une approche plus rapide, dans la mouvance des concepts actuels de « Lean Design » [Mascitelli, 2004]. Cette approche, dérivée de l'AMDEC Processus, ne part pas des opérations du flux mais de la liste des caractéristiques à réaliser du produit (les

différentes cotes). Pour bien la distinguer des méthodes classiques, nous lui avons donné le nom de « matrice d'impact complète ».

Reprenant le principe utilisé au paragraphe précédent qui dit que la puissance de contrôle d'une caractéristique doit être proportionnelle au niveau de risque inhérent à cette caractéristique, nous reprenons l'équation de la criticité utilisée en AMDEC :

$$\text{Criticité} = \text{Occurrence} * \text{Gravité} * \text{Détection}$$

Pour l'écrire sous la forme :

$$\text{Détection} = \frac{\text{Criticité}}{\text{Occurrence} * \text{gravité}}$$

Ainsi, le risque (criticité) étant fixé, le niveau de détection doit dépendre de la gravité de l'anomalie redoutée et de son occurrence. L'objectif des deux premières parties de la matrice d'impact sera de déterminer ces deux éléments.

La troisième partie de la matrice d'impact servira à construire le plan de surveillance.

Dans sa quatrième et dernière partie, nous proposons une approche d'évaluation de la qualité prévisionnelle du produit à partir des capacités espérées ou calculées sur le produit ou sur un produit similaire.

7.1. Analyse de la gravité associée à chaque caractéristique du produit

La première partie de la « matrice d'impact complète » sert à déterminer l'importance de chaque caractéristique des composants du système.

Ainsi, notre matrice reprend en ligne l'ensemble des caractéristiques du produit auxquelles nous avons associé un niveau de gravité défini en fonction de l'impact sur l'ensemble des fonctions attendues du système. La manière de réaliser cette première partie de la matrice ayant déjà été décrite au chapitre 3 « Vers une maîtrise de risque efficiente en conception » aux paragraphes 7 « Détermination de la relation fonction / caractéristique par la matrice d'impact », et 9.2 « Recherche des effets et évaluation de la gravité de ces défaillances grâce à la matrice d'impact » nous invitons le lecteur à se retourner vers ces paragraphes pour une vision complète de la méthodologie.

La mise en œuvre de cette première partie de la matrice d'impact complète réalisée sur l'exemple de notre rasoir jetable avait donné le résultat suivant :

Fonction		Fp1				Fp2			Fc1		Fc2	Fc3	Fc4	Fc5	Gravité	CC / CS	
Critères de performances (en terme fonctionnels)		Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTTF	Confort de rasage	Faillibilité	Taux hygrométrie surfacique	Confort tactile	Taux d'alertes de la main	Taux de coupures	Taux d'alertes du visage	Durabilité	Durabilité			Esthétisme
Objectifs		5 min ± 2 min	20N Max	1 an mini	10 rasages	> 90% satisf.	10 rasages	85% ± 3%	> 90% satisf.	< 1 ‰	< 10 ppm	< 1 ‰	1 an mini	1 an mini			> 90% satisf.
Gravité fonctionnelle		3	5	8	8	5	5	5	5	10	10	10	5	5	2		
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit														Gravité	CC / CS
Manche	Φ6 ± 0,5	Section			40%					40%					10%			6
	Caoutchouc	Nature			40%					70%	100%			40%	40%	10	CC
Tête	40 ± 0,3	Longueur	40%	10%												2	
	10 ± 0,2	largeur		10%		10%	40%								10%	4	
	Polypropylène	Nature		10%	10%	10%						40%	40%	40%		9	CS
Lames	0 ± 1°	Position / manche					40%		40%						70%	5	
	37 ± 0,1	Longueur	100%	70%			40%									6	
	7 ± 0,05	largeur				10%										3	
	Inox	Nature	70%	10%		40%	10%				100%	40%	100%	100%		10	CC
	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / tête		40%		10%									10%	8	CS
Contre-lames	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / contre-lame		40%		10%					40%				10%	8	CS
	39 ± 0,3	Longueur	40%	10%												2	
	9 ± 0,05	largeur		10%		10%	40%									4	
Lubrifiant	Polypropylène	Nature		10%	10%	10%						40%	40%	40%		9	CS
	33 ± 0,1	Longueur		10%			10%								10%	2	
	1 ± 0,1	largeur		70%			70%									6	
	0,3 ± 0,05	Epaisseur				40%		40%								6	
Capuchon	Aloe	Nature		40%		10%	70%	40%	100%			100%	100%	100%		10	CC
	0 ± 1°	Parallélisme / contre-lame													100%	2	
	41 ± 0,3	Longueur														1	
Capuchon	11 ± 0,2	largeur														1	
	Polyéthylène	Nature			10%											3	

Tableau 4.15 : 1^{ère} partie de la matrice d'impact permettant de déterminer les gravités associées à chaque caractéristique des composants du rasoir

7.2. Analyse de l'occurrence relative à chaque caractéristique du produit

Au paragraphe 6.2.3 « Construction du plan de surveillance au juste nécessaire », nous avons montré que la façon de détecter au mieux une anomalie dépendait du mode de défaillance process qui la générait (tableau 4.12). C'est à partir de cette relation que nous proposons une méthodologie permettant d'évaluer rapidement les occurrences et ce de façon beaucoup plus objective que les approches classiques décrites en 3.3 « AMDEC Processus : Partie analyse quantitative » du chapitre 2.

Pour déterminer rapidement les occurrences, nous partons de l'hypothèse que, si le processus de fabrication est capable, les anomalies sont le résultat d'un écart (dérive ou dérèglement) par rapport à une situation stable.

Ainsi, pour chaque caractéristique, nous proposons que le groupe d'analyse, constitué d'expert du process étudié, évalue la capabilité attendue du processus de fabrication et identifie le type d'écart qui pourrait survenir, pour calculer l'occurrence par la formule suivante :

$$O_{brut} = D \sum \text{Poids} \times \text{mode de défaillance}$$

Avec :

- MD : Mode de défaillance process pouvant générer l'anomalie sur la caractéristique

- Poids : Poids attribué à chaque mode de défaillance process
- D : Difficulté de réalisation de la caractéristique en fonction de sa capabilité

7.2.1. Détermination du mode de défaillance process pouvant générer une anomalie sur la caractéristique

Le tableau rappelé ci-dessus proposait de classer les modes de défaillances process susceptibles de générer une anomalie produit selon 4 critères :

- Le type d'anomalie étudiée (décalage en position, augmentation de dispersion ou défaut erratique)
- la façon dont l'anomalie apparaît (brutale ou en dérive),
- la réversibilité de cette anomalie au niveau du processus (nécessité ou non d'une intervention humaine pour cesser de la produire).
- le caractère prévisible ou non du phénomène (présence d'un événement causal ou non).

Cependant, pour gérer l'occurrence, il nous semble que seul le caractère de « prévisibilité » du mode de défaillance par l'opérateur est important. Ainsi, la première étape dans notre approche d'évaluation de l'occurrence consiste, pour chaque caractéristique, à déterminer si l'anomalie de la caractéristique peut être :

- Un décalage (brutal ou en dérive, en position ou en dispersion) suite à événement causal prévisible par l'opérateur (comme un changement de lot de matière première par exemple).
- Un décalage suite à événement causal imprévisible par l'opérateur (comme une casse d'outil).
- Une défaillance erratique.
- Ou si l'anomalie se produit alors que le processus est parfaitement stable (problème de sous capabilité par exemple).

L'objet de notre travail étant la construction du plan de surveillance opérationnel au juste nécessaire, nous n'intégrons pas les changements de série comme événement causal prévisible. En effet, la vérification de la bonne réalisation des caractéristiques lors d'un redémarrage série est un élément de base dans la bonne marche d'un atelier, généralement toujours pris en compte dans les procédures génériques. Ce cas ne fait donc pas partie du champ de notre analyse.

Par exemple, si on reprend les caractéristiques du manche de notre rasoir réalisé caoutchouc injecté, on peut imaginer que seul un événement imprévisible comme un problème de régulation en température du moule puisse altérer la caractéristique section ; la nature du manche étant elle toujours en caoutchouc, l'atelier ne disposant que de cette matière (processus stable).

Par contre, les caractéristiques longueur et largeur de la tête pourront, elles, être mauvaises au démarrage machine si la machine est froide (décalage suite à événement causal prévisible par l'opérateur), ou avoir des variations si un problème se crée au niveau de la régulation en température du moule d'injection (décalage suite à événement causal imprévisible par l'opérateur)

De même, La seule façon de ne plus faire une tête en polypropylène serait une erreur de matériau au moment du démarrage de la série mais, la procédure générique de démarrage série prévoyant que l'opérateur doit systématiquement vérifier les premières tombées,

nous ne prendrons pas en compte ce point et donc considérerons que le processus est stable vis-à-vis de cette caractéristique. A l'inverse, le montage de la tête sur le manche se faisant manuellement à l'aide d'un gabarit, l'angle tête / manche peut être mauvais sur une erreur de l'opérateur (Défaillance erratique) ou à cause de l'usure du gabarit (décalage suite à événement causal imprévisible par l'opérateur).

Ainsi, à partir de l'industrialisation prévue, il est donc généralement très rapide de déterminer les modes de défaillances process redoutés.

7.2.2. Détermination d'un poids à chaque mode de défaillance process

A chaque mode de défaillance process redouté, nous avons affecté un poids allant de 1 pour un processus stable à 4 pour les défaillances erratiques, ce type de défaillance étant généralement très délicat à maîtriser pour l'industriel. De plus, considérant qu'un événement imprévisible est toujours plus préjudiciable qu'un événement prévisible, aux décalages suite à événement causal imprévisible par l'opérateur, nous avons donné un poids de 3 et un poids de 2 pour les décalages suite à événement causal prévisible par l'opérateur

Le tableau suivant résume ainsi les poids relatifs aux modes de défaillance process :

Mode de défaillance process	Poids
Processus stable	1
Décalage suite à événement causal prévisible	2
Décalage suite à événement causal imprévisible	3
Défaillance erratique	4

Tableau4.16 : Poids relatifs attribués à chaque mode de défaillance process

Ces valeurs, déterminées à partir de notre expérience, nous ont donné des résultats satisfaisants quelque soit le produit étudié, libre au groupe d'analyse d'en choisir d'autres en fonction de sa connaissance réelle de son propre processus.

7.2.3. Détermination de la difficulté de réalisation de la caractéristique

Dans notre calcul de l'occurrence, le cumul pondéré des défaillances process redoutés est lui-même pondéré par un coefficient que nous avons appelé « Difficulté » déterminé en fonction de la difficulté à réaliser les tolérances demandées. Ainsi, pour le manche, respecter la caractéristique nature du caoutchouc semble très aisé, aussi la note de difficulté sera basse. A l'inverse, la caractéristique « angle tête/manche », réalisée à la main, aura toutes les chances d'être mauvaise car la tolérance demandée est de $\pm 1^\circ$. Ici, la note de difficulté devra donc être forte.

Ainsi, nous proposons d'utiliser les notes de difficulté présentées dans le tableau ci-dessous :

Libellé	Cp (si connu)	Difficulté D
. Les variations attendues sont très faibles devant les tolérances . Tolérances très faciles à tenir	$Cp > 3$	1
. Les variations attendues sont faibles devant les tolérances . Tolérances faciles à tenir	$2 < Cp < 3$	2
. Les variations attendues sont importantes devant les tolérances . Tolérances difficiles à tenir	$1 < Cp < 2$	4
. Les variations court termes attendues sont supérieures aux tolérances . Tolérances impossibles à tenir	$Cp < 1$	10

Tableau 4.17 : valeurs du coefficient D en fonction de la difficulté à réaliser la caractéristique

Nous avons déterminé ce coefficient de 1 à 10 selon une échelle type « exponentielle » pour renforcer le poids d'une anomalie relative à une caractéristique dont les tolérances ne seraient pas compatibles avec la variabilité naturelle du processus de fabrication (capabilités faibles). Evidement, là encore, libre à chaque utilisateur de définir les valeurs de capacité ou l'échelle du coefficient D en fonction de son propre processus.

7.2.4. Calcul de l'occurrence

Ainsi, à nos yeux, le calcul de l'occurrence d'une anomalie doit prendre en compte :

- Le nombre et le type de défaillances process qui peuvent l'entraîner.
- La marge qui existe entre la dispersion naturelle du process et la tolérance

Aussi, nous proposons de calculer l'occurrence de chaque caractéristique selon la formule suivante :

$$O_{\text{brut}} = D \sum \text{Poids} \times \text{mode de défaillance}$$

La note d'occurrence finale étant la valeur de O_{brut} minimisée à 1 et maximisée à 10 pour retrouver les valeurs classiques de l'AMDEC.

Par exemple, la caractéristique « position / manche » de la tête avait 2 causes process pouvant la générer :

- Un décalage suite à événement imprévisible dont le poids est de 3 (dérèglement du gabarit).
- Une défaillance erratique (erreur de l'opérateur) dont le poids est de 4.

La tolérance étant considérée comme globalement difficile à tenir (Note D=4), il en vient une note d'occurrence O_{brut} de :

$$O_{\text{brut}} = 4 \times (3 + 4) = 28$$

Soit une note d'occurrence finale de 10.

Le mode de calcul ci-dessus constitue donc une aide précieuse pour service industrialisation pour proposer une note d'occurrence en accord avec les grilles standards de l'AMDEC.

Le tableau ci-dessous présente la partie « calcul de l'occurrence » réalisée pour les caractéristiques de notre rasoir :

			1	2	3	4				
			Processus stable	Décalage suite à événement causal prévisible	Décalage suite à événement causal imprévisible	Défaillance erratique	Dans le cas d'un événement causal identifié, noter le ici	Difficulté de tenue de la caractéristique (par rapport à la tolérance)	Occurrence brut	Occurrence
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit ↓								
Manche	$\Phi 6 \pm 0,5$	Section			1			1	3	3
	Caoutchouc	Nature	1					1	1	1
Tête	$40 \pm 0,3$	Longueur		1	1		Démarrage machine	2	10	10
	$10 \pm 0,2$	largeur		1	1		Démarrage machine	2	10	10
	Polypropylène	Nature	1					1	1	1
	$0 \pm 1^\circ$	Position / manche			1	1		4	28	10
Lames	$37 \pm 0,1$	Longueur			1			1	3	3
	$7 \pm 0,05$	largeur			1			2	6	6
	Inox	Nature	1					1	1	1
	$0,1 \pm 0,02$	Taux de sortie / tête				1		3	12	10
	$0,1 \pm 0,02$	Taux de sortie / contre-lame				1		3	12	10
Contre-lames	$39 \pm 0,3$	Longueur			1			1	3	3
	$9 \pm 0,05$	largeur			1			3	9	9
	Polypropylène	Nature	1					1	1	1
Lubrifiant	$33 \pm 0,1$	Longueur			1		Changement d'outillage	2	6	6
	$1 \pm 0,1$	largeur			1		Changement d'outillage	2	6	6
	$0,3 \pm 0,05$	Epaisseur	1					10	10	10
	Aloe	Nature	1	1			Mélange au changement de série	1	3	3
	$0 \pm 1^\circ$	Parallélisme / contre-lame				1		3	12	10
Capuchon	$41 \pm 0,3$	Longueur			1			1	3	3
	$11 \pm 0,2$	largeur			1			1	3	3
	Polyéthylène	Nature	1				Changement type de production	1	1	1

Tableau 4.18 : 2^{ème} partie de la matrice d'impact permettant de déterminer les occurrences associées à chaque caractéristique des composants du rasoir

7.2.5. Réduction des occurrences les plus fortes

Tout comme pour l'approche proposée avec l'outil AMDEC (Cf. 6.2.2 : Rechercher des Actions correctives pour réduire les occurrences les plus élevées), nous proposons, dès la phase industrialisation, de tenter de réduire les occurrences les plus élevées afin de ne pas laisser le processus réaliser trop de non-conformes, même si ces non-conformes seront bloquées par une détection avant livraison au client.

Pour bien visualiser les occurrences les plus élevées, nous avons utilisé la fonction « mise en forme conditionnelle » de notre tableau pour créer une sorte de Pareto allant du vert pour les occurrences les moins élevées, à rouge pour les plus fortes en passant par jaune pour les occurrences moyennes.

Charge donc à l'industriel de rechercher les causes racine des occurrences les plus élevées (rouge) pour rechercher une action corrective qui permettrait de réduire la note d'O_{brut}.

Ainsi dans notre exemple, l'occurrence la plus élevée concerne la caractéristique « angle de montage de la tête sur le manche » avec une note O_{brut} à 28. Cette caractéristique étant

réalisée manuellement par l'opérateur, son mode de défaillance était essentiellement de type erratique. Pour en réduire l'occurrence, il a été décidé de monter le rasoir non plus manuellement mais grâce à un robot, engendrant un processus complètement stable sur cette caractéristique. Grâce à cette modification de mode de défaillance process, l'occurrence de la caractéristique « angle de montage de la tête sur le manche » prendra une note de 4.

Le montage par robot ayant été généralisé à tous les composants du rasoir, le tableau ci-dessous donne les nouvelles occurrences calculées :

			1	2	3	4			
			Processus stable	Décalage suite à événement causal prévisible	Décalage suite à événement causal imprévisible	Défaillance erratique	Dans le cas d'un évènement causal identifié, noter le ici		
							Difficulté de tenue de la caractéristique (par rapport à la tolérance)	Occurrence brut	Occurrence
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit ↓							
Manche	$\Phi 6 \pm 0,5$	Section			1		1	3	3
	Caoutchouc	Nature	1				1	1	1
Tête	$40 \pm 0,3$	Longueur		1	1		Démarrage machine	2	10
	$10 \pm 0,2$	largeur		1	1		Démarrage machine	2	10
	Polypropylène	Nature	1					1	1
	$0 \pm 1^\circ$	Position / manche	1					4	4
Lames	$37 \pm 0,1$	Longueur			1			1	3
	$7 \pm 0,05$	largeur			1			2	6
	Inox	Nature	1					1	1
	$0,1 \pm 0,02$	Taux de sortie / tête	1					3	3
Contre-lames	$0,1 \pm 0,02$	Taux de sortie / contre-lame	1					3	3
	$39 \pm 0,3$	Longueur			1			1	3
	$9 \pm 0,05$	largeur			1			3	9
Lubrifiant	Polypropylène	Nature	1					1	1
	$33 \pm 0,1$	Longueur			1		Changement d'outillage	2	6
	$1 \pm 0,1$	largeur			1		Changement d'outillage	2	6
	$0,3 \pm 0,05$	Epaisseur	1					10	10
	Aloe	Nature	1	1			Mélange au changement de série	1	3
Capuchon	$0 \pm 1^\circ$	Parallélisme / contre-lame	1					3	3
	$41 \pm 0,3$	Longueur			1			1	3
	$11 \pm 0,2$	largeur			1			1	3
	Polyéthylène	Nature	1				Changement type de production	1	1

Tableau 4.19 : 2^{ème} partie de la matrice d'impact revue après mise en œuvre des actions correctives pour réduire les occurrences

7.3. Définition du plan de surveillance

La mission première de l'opérateur étant de produire des pièces, le but de notre démarche est clairement de ne laisser en contrôle « bord de ligne » que les contrôles nécessaires au pilotage de la production. En effet, tout contrôle inutile dans une approche de type lean manufacturing peut être vu comme un gaspillage qui fait souvent perdre beaucoup de productivité [Sahoo, 2008]. Par exemple lorsqu'une anomalie est redoutée avec une occurrence très faible, plutôt que de la surveiller en bord de ligne avec une fréquence élevée, il est préférable de mettre en place un « contrôle libératoire fréquentiel » au contrôle final et donc hors ligne, qui ne pénalise pas la production.

La 3^{ème} partie de notre matrice d'impact globale sert à donc déterminer le plan de surveillance « au juste nécessaire » relatif aux caractéristiques listées, la puissance de contrôle nécessaire résultant de l'analyse précédente en gravité et occurrence.

Tout comme pour notre approche de construction du plan de surveillance à partir de l'AMDEC (Cf. 6.2.3 : Construction du plan de surveillance au juste nécessaire), nous proposons de construire le plan de surveillance de telle façon que chaque caractéristique soit traitée à ISO-Risque, en se fixant un objectif de criticité C_{obj} et en calculant le niveau de détection nécessaire et suffisant par la formule $D = \frac{C_{obj}}{O \times G}$.

7.3.1. Détermination de la position des contrôles

Par la formule $D_{calculé} = \frac{C_{obj}}{O \times G}$, on calcule le niveau de détection nécessaire et, en utilisant une grille cotation de la détection (voir ci-dessous) construite en fonction de la position de la détection dans le flux, on détermine où placer la détection de chaque caractéristique à partir de la note D calculée.

Note	Positionnement de la détection
1	Contrôle à l'opération génératrice du défaut par opérateur
4	Contrôle en interne en interne par opérateur
7	Contrôle au contrôle final
10	Pas de contrôle

Tableau 4.20 : Grille de détermination de la position du contrôle en fonction de la note de détection

Dans notre exemple, nous nous sommes fixés un objectif de criticité de 100. La position des différentes détections est définie de telle sorte que la note réelle de détection soit la plus proche valeur inférieure de la note de détection nécessaire calculée, et ce pour chacune des caractéristiques.

La note de détection réelle peut alors être renseignée et la criticité finale calculée. Ces 2 valeurs seront alors intégrées dans notre matrice.

Le tableau suivant montre l'avancement de notre matrice à cette étape :

					Objectifs criticité :		100	Position du contrôle						
					Occurrence brut	Occurrence	Détection nécessaire	Contrôle au démarrage série	Contrôle à l'opération génératrice du défaut par opérateur	Contrôle en interne par opérateur	Contrôle au contrôle final	Détection réelle	Criticité finale	
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit ↓	Gravité	CC / CS	O _{brut}	O	D _{calculée}					D	C	
					Manche	Φ6 ± 0,5	Section	6		3	3	5,56	X		X		4	72
Caoutchouc	Nature	10	CC	1		1	10,00	X				10	100	
Tête	40 ± 0,3	Longueur	2		10	10	5,00	X		X		4	80	
	10 ± 0,2	largeur	4		10	10	2,50	X	X			1	40	
	Polypropylène	Nature	9	CS	1	1	11,11	X				10	90	
Lames	0 ± 1°	Position / manche	5		4	4	5,00	X		X		4	80	
	37 ± 0,1	Longueur	6		3	3	5,56	X		X		4	72	
	7 ± 0,05	largeur	3		6	6	5,56	X		X		4	72	
	Inox	Nature	10	CC	1	1	10,00	X				10	100	
	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / tête	8	CS	3	3	4,17	X		X		4	96	
Contre-lames	0,1 ± 0,02	Taux de sortie / contre-lame	8	CS	3	3	4,17	X		X		4	96	
	39 ± 0,3	Longueur	2		3	3	16,67	X				10	60	
	9 ± 0,05	largeur	4		9	9	2,78	X	X			1	36	
Lubrifiant	Polypropylène	Nature	9	CS	1	1	11,11	X				10	90	
	33 ± 0,1	Longueur	2		6	6	8,33	X			X	7	84	
	1 ± 0,1	largeur	6		6	6	2,78	X	X			1	36	
	0,3 ± 0,05	Epaisseur	6		10	10	1,67	X	X			1	60	
	Aloe	Nature	10	CC	3	3	3,33	X	X			1	30	
Capuchon	0 ± 1°	Parallélisme / contre-lame	2		3	3	16,67	X				10	60	
	41 ± 0,3	Longueur	1		3	3	33,33	X				10	30	
	11 ± 0,2	largeur	1		3	3	33,33	X				10	30	
	Polyéthylène	Nature	3		1	1	33,33	X				10	30	

Tableau 4.21 : 3^{ème} partie de la matrice d'impact : détermination de la position des contrôles

7.3.2. Détermination du mode de détection

La position de chacun des contrôles définie, reste à déterminer le mode de détection idoine. En reprenant le tableau ci-dessous résumant le meilleur mode de contrôle en fonction du mode de défaillance process envisagé, l'industrialisateur pourra choisir le meilleur mode de détection pour chacune des caractéristiques.

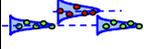
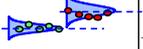
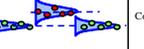
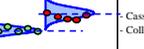
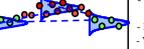
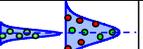
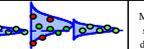
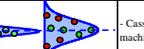
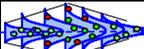
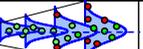
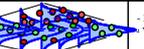
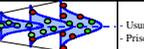
Position	Brutale	 - Redémarrage machine (mise en stabilisation)	 - Erreur outil - Erreur lot MP - Changement consignes	 Copeau collé sur bûche quelques temps	 - Casse outil - Collision pièces
	Dérive	 - Redémarrage machine (mise en stabilisation)	 Réglage machine au démarrage sans attendre sa stabilisation	 - Contamination puis dilution - Problème régulation - Variation conditions ambiantes	 - Usure outil - Encrassement filtre - dérèglement machine
Dispersion	Brutale	 - Redémarrage machine (mise en stabilisation)	 Défauts de localisation suite à outil mal centré dans la broche	 Mise en raisonance suite au démarrage d'une autre machine	 - Casse d'un guidage machine
	Dérive	 - Redémarrage machine (mise en stabilisation)	 Mauvais serrage outil après changement	 - Problème régulation - Variation conditions ambiantes	 - Usure d'un foret - Prise de jeux
Erratique	sans objet		Sans objet		Sans objet
Redescente	Réversible		Irréversible		Irréversible
Prévisibilité	Prévisible			Imprévisible	

Tableau 4.22 : Définition du meilleur mode de détection en fonction du mode de défaillance process

Reste alors à définir le moyen de contrôle et la fréquence de prélèvement pour compléter la partie plan de surveillance de notre matrice d'impact.

En termes de moyen de contrôle, pour gagner en vitesse de contrôle, nous préconisons d'utiliser des gabarits (contrôle à l'attribut) le plus souvent possible. Seulement ces outils ne sont adaptés que pour détecter les décalages francs et brutaux (casse d'un outil par exemple).

Pour les petits décalages ou les dérives, nous avons montré que le SPC à la mesure était la méthode la plus adaptée. Cette méthode nécessite des systèmes de contrôle dits « à la mesure » qui donnent des valeurs comme les pieds à coulisse ou les voltmètres.

La définition de la fréquence de contrôle pose toujours un problème aux entreprises. En effet, « un délicat équilibre entre coût et sécurisation doit être trouvé » [Alfaraes, 1999] :

- Plus la pièce est chère, plus la fréquence doit être élevée.
- Plus la cadence de la machine est élevée, plus la fréquence doit être élevée.
- Plus le processus de fabrication est instable, plus la fréquence doit être élevée.

Mais à l'inverse,

- Plus le coût du contrôle est élevé (voire contrôle destructif), moins la fréquence doit être élevée.

Comme le précise Susanta Kumar GAURI [Gauri, 2006], la fréquence de contrôle doit être conditionnée par la variabilité du processus. La norme Française NFX 06-031 relative aux cartes de contrôle [AFNOR, 1995] préconise ainsi de calculer la fréquence de contrôle selon la formule proposée par René Cavé :

$$f = \frac{1}{t} * \sqrt{\frac{N * R}{n}}$$

- avec f = fréquence de prélèvement
- n = nombre de pièces à prélever
- R = nombre moyen de réglages pendant le temps t
- N = Quantité moyenne produite pendant le temps t

Cependant, à cette approche mathématique, nous préférons calculer la fréquence de contrôle sur la base du théorème de Shannon (théorème d'échantillonnage des signaux de Wisquist-Shannon). Ainsi, l'application de ce théorème définit la fréquence de prélèvement comme devant être supérieure à la fréquence moyenne d'intervention divisée par 4.

Attention cependant, pour faciliter l'appropriation du plan de surveillance par les opérateurs, il peut être nécessaire d'homogénéiser les fréquences de contrôle pour l'ensemble des caractéristiques suivies par le même opérateur. Dans ce cas évidemment, la fréquence retenue sera la fréquence correspondant à la caractéristique suivie la plus souvent.

Le tableau ci-dessous montre la 3^{ème} partie « plan de surveillance » de la matrice d'impact globale réalisée pour notre rasoir :

				Objectifs criticité :	100	Position du contrôle												
				Occurrence brut	Occurrence	Détection nécessaire	Contrôle au démarrage série	Contrôle à l'opération génératrice du défaut par opérateur			Contrôle en interne par opérateur			Contrôle au contrôle final			Détection réelle	Criticité finale
Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit	Gravité	CC / CS	O _{brut}	O	D _{calculée}	Moyen de contrôle	Méthode de contrôle	taille et fréquence	Moyen de contrôle	Méthode de contrôle	taille et fréquence	Moyen de contrôle	Méthode de contrôle	taille et fréquence	Moyen de contrôle	D	C
				Ø6 ± 0,5	Section	6		3	3	5,56	Pac				SPC	5/heure	Pac	
	Caoutchouc	10	GC	1	1	10,00	Toucher										10	100
40 ± 0,3	Longueur	2		10	10	5,00	Pac				SPC	5/heure	Pac				4	80
10 ± 0,2	largeur	4		10	10	2,50	Pac	SPC	5/heure	Pac							1	40
	Polypropylène	9	CS	1	1	11,11	Visuel										10	90
0 ± 1°	Position / manche	5		4	4	5,00	Gabarit				Tri à 100%	Tri à 100%	Gabarit				4	80
37 ± 0,1	Longueur	6		3	3	5,56	Gabarit				SPC	5/heure	Pac				4	72
7 ± 0,05	largeur	3		6	6	5,56	Gabarit				SPC	5/heure	Pac				4	72
	Inox	10	CC	1	1	10,00	Visuel										10	100
0,1 ± 0,02	Taux de sortie / tête	8	CS	3	3	4,17	Gabarit				Tri à 100%	Tri à 100%	Gabarit				4	96
0,1 ± 0,02	Taux de sortie / contre-lame	8	CS	3	3	4,17	Gabarit				Tri à 100%	Tri à 100%	Gabarit				4	96
39 ± 0,3	Longueur	2		3	3	16,67	Pac										10	60
9 ± 0,05	largeur	4		9	9	2,78	Pac	SPC	5/heure	Pac							1	36
	Polypropylène	9	CS	1	1	11,11	Visuel										10	90
33 ± 0,1	Longueur	2		6	6	8,33	Pac						SPC	5/équipe	Pac		7	84
1 ± 0,1	largeur	6		6	6	2,78	Pac	SPC	5/heure	Pac							1	36
0,3 ± 0,05	Epaisseur	6		10	10	1,67	US	Tri à 100%	Tri à 100%	US							1	60
	Aloe	10	CC	3	3	3,33	Toucher	Attribut	1/heure	Toucher							1	30
0 ± 1°	Parallélisme / contre-lame	2		3	3	16,67	Visuel										10	60
41 ± 0,3	Longueur	1		3	3	33,33	Pac										10	30
11 ± 0,2	largeur	1		3	3	33,33	Pac										10	30
	Polyéthylène	3		1	1	33,33	Visuel										10	30

Tableau 4.23 : 3^{ème} partie de la matrice d'impact : plan de surveillance de notre rasoir

7.4. Evaluation de la satisfaction client

La 4^{ème} et dernière partie de la matrice d'impact permet d'évaluer la qualité prévisionnelle du produit à partir des capabilités calculées sur le produit, ou en se basant de façon prévisionnelle sur les capabilités issues de la fabrication d'un produit similaire.

Pour chaque caractéristique de la matrice d'impact, la valeur de capabilité Ppk est transformée en note que nous avons appelée « note de capabilité » allant de 1 à 10 selon le tableau ci-dessous (si la caractéristique ne fait pas l'objet d'un calcul de capabilité, la note

est alors mise en fonction du niveau de conformité attendu sur cette caractéristique en pourcentage ou ppm).

Capabilité Ppk	Proportion NC	Note "capabilité"
$Ppk \geq 2$	$p < 0,002 \text{ ppm}$	10
$1,67 \leq Ppk < 2$	$0,47 \text{ ppm} > p \geq 0,002 \text{ ppm}$	9
$1,5 \leq Ppk < 1,67$	$6,8 \text{ ppm} > p \geq 0,47 \text{ ppm}$	8
$1,33 \leq Ppk < 1,5$	$64 \text{ ppm} > p \geq 6,8 \text{ ppm}$	7
$1,1 \leq Ppk < 1,33$	$967 \text{ ppm} > p \geq 63 \text{ ppm}$	6
$1 \leq Ppk < 1,1$	$2700 \text{ ppm} > p \geq 967 \text{ ppm}$	5
$0,9 \leq Ppk < 1$	$6940 \text{ ppm} > p \geq 2700 \text{ ppm}$	4
$0,75 \leq Ppk < 0,9$	$2,44\% > p \geq 6940 \text{ ppm}$	3
$0,5 \leq Ppk < 0,75$	$13,4\% > p \geq 2,44\%$	2
$Ppk < 0,5$	$p \geq 13,4\%$	1

Tableau 4.24 : Grille de détermination de la note de capabilité

Cette note de capabilité permet de calculer un niveau de satisfaction sur chacune des fonctionnalités attendues par le client.

En effet, si par fonctionnalité, on calcule le ratio entre la somme des contributions de chacune des caractéristiques pondérées par la note de capabilité de chaque caractéristique, et la somme des contributions de chacune des caractéristiques pondérées par la note maximum possible lorsque toutes les notes de capabilité de ces caractéristiques sont à 10, ce ratio représente en pourcentage le taux de satisfaction sur chacune des fonctionnalités.

$$r_j = \frac{\sum \text{Contribution}_{ij} \times \text{Capabilité}_i}{\sum \text{Contribution}_{ij} \times 10}$$

Le schéma suivant montre le calcul du ratio proposé :

$$r = \frac{\sum Contribution \times Note\ capacité}{\sum Contribution \times 10}$$

Note Qualité	Fonction		Fp1				Fp2			Fc1		Fc2		Fc3	Fc4	Fc5	Capabilité				
	Critères de performances (en terme fonctionnels)		Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTTF	Confort de rasage	Fiabilité	Taux hyponémie sanguin	Confort tactile	Taux d'allergies de la main	Taux de coupures	Taux d'abrasions du visage	Durabilité	Durabilité	Escabène	Note de capabilité	%R&R	Cp	Pp	Ppk
	Objectifs		5 min ± 2 min	20N Max	1 an min	10 rasages	> 90% satisf	10 rasages	85% ± 3%	> 90% satisf	< 1 %	< 10 ppm	< 1 %	1 an min	1 an min	> 90% satisf					
84,0%	Gravité fonctionnelle		3	5	8	8	5	5	5	5	10	10	10	5	5	2					
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit	63%	71%	87%	79%	74%	70%	80%	84%	100%	84%	91%	94%	93%	60%					
Manche	∅6 ± 0,5	Section			40%					40%						10%	9	7%	2,5	2	1,9
	Caoutchouc	Nature			40%					70%	100%					40%	10				
Tête	40 ± 0,3	Longueur	40%	10%													9	9%	2	2	1,9
	10 ± 0,2	largeur				40%										10%	10	12%	2,5	2,1	2
	Polypropylène	Nature		10%	10%	10%							40%	40%	40%		10				
	0 ± 1°	Position / manche				40%				40%						70%	5	25%	1,8	1,3	1

C_i : Contribution de la caractéristique au critère i de la fonction considérée

Capabilité : Note déterminée en fonction de la capabilité de la caractéristique

Figure 4.10: Mode de calcul du taux de satisfaction de chacune des fonctionnalités

Afin de proposer à l'industrialisateur un indicateur global représentatif de qualité de l'ensemble du produit fabriqué, nous proposons de calculer la somme des ratios de chaque fonctionnalité client pondérés par leur note de gravité fonctionnelle.

$$Note_qualité_globale = \frac{\sum ratio_j \times gravité_j}{\sum gravité_j}$$

Ce taux que nous avons appelé « note de qualité globale » permet de comparer plusieurs projets et/ou de juger de la qualité de l'industrialisation.

Le schéma suivant montre le calcul du ratio proposé :

$$Note_qualité_globale = \frac{\sum ratio_j \times gravité_j}{\sum gravité_j}$$

Note Qualité	Fonction		Fp1				Fp2			Fc1		Fc2		Fc3	Fc4	Fc5	Capabilité				
	Critères de performances (en terme fonctionnels)		Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTTF	Confort de rasage	Fiabilité	Taux d'hygiène bactériologique	Confort tactile	Taux d'allergies de la main	Taux de coupures	Taux d'allergies du visage	Durabilité	Durabilité	Esthétique	Note de capabilité	%R&R	Cp	Pp	Ppk
	Objectifs		5 min ± 2 min	20N Max	1 an mini	10 rasages	> 90% satisf.	10 rasages	85% ± 3%	> 90% satisf.	< 1 %	< 10 ppm	< 1 %	1 an mini	1 an mini	> 90% satisf.					
84,0%	Gravité fonctionnelle		3	5	8	8	5	5	5	5	10	10	10	5	5	2					
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit	63%	71%	87%	79%	74%	70%	80%	84%	100%	84%	91%	94%	93%	60%					
		↓																			
Manche	Caoutchouc	Ø6 ± 0,5 Section			40%				40%						10%	9	7%	2,5	2	1,9	
		Nature		40%					70%	100%				40%	40%	10					
Tête	Polypropylène	40 ± 0,3 Longueur	40%	10%												9	9%	3	2	1,9	
		10 ± 0,2 largeur		10%		10%	40%								10%	10	12%	2,5	2,1	2	
		Nature	10%	10%	10%							40%	40%	40%		10					
		0 ± 1° Position / manche				40%			40%						70%	5	25%	1,8	1,3	1	

r_j : ratio de satisfaction de la fonctionnalité considérée

G_j: Note de Gravité fonctionnelle attribuée à la fonctionnalité j

Figure 4.11 : Mode de calcul de la note de qualité globale

Le schéma suivant montre la quatrième partie de notre matrice d'impact globale relative à l'étude de l'industrialisation du rasoir :

Note Qualité	Fonction		Fp1				Fp2			Fc1		Fc2		Fc3	Fc4	Fc5	Capabilité				
	Critères de performances (en terme fonctionnels)		Temps de coupe	Effort de coupe	Durabilité	MTTF	Confort de rasage	Fiabilité	Taux d'hygiène bactériologique	Confort tactile	Taux d'allergies de la main	Taux de coupures	Taux d'allergies du visage	Durabilité	Durabilité	Esthétique	Note de capabilité	%R&R	Cp	Pp	Ppk
	Objectifs		5 min ± 2 min	20N Max	1 an mini	10 rasages	> 90% satisf.	10 rasages	85% ± 3%	> 90% satisf.	< 1 %	< 10 ppm	< 1 %	1 an mini	1 an mini	> 90% satisf.					
84,8%	Gravité fonctionnelle		3	5	8	8	5	5	5	5	10	10	10	5	5	2					
Pièces	Cible et Tolérances	Caractéristiques élémentaires sur les composants du produit	63%	71%	96%	79%	74%	70%	80%	84%	100%	84%	91%	94%	93%	60%					
		↓																			
Manche	Caoutchouc	Ø6 ± 0,5 Section			40%				40%						10%	9	7%	2,5	2	1,9	
		Nature		40%					70%	100%				40%	40%	10					
Tête	Polypropylène	40 ± 0,3 Longueur	40%	10%												9	9%	3	2	1,9	
		10 ± 0,2 largeur		10%		10%	40%								10%	10	12%	2,5	2,1	2	
		Nature	10%	10%	10%							40%	40%	40%		10					
		0 ± 1° Position / manche				40%			40%						70%	5	25%	1,8	1,3	1	
Lames	Inox	37 ± 0,1 Longueur	100%	70%			40%								2	7%	2,5	1,6	0,6		
		7 ± 0,05 largeur		10%		10%									3	14%	2	1,3	0,8		
		0,1 ± 0,02 Taux de sortie / tête	40%	10%								100%	40%	100%	100%	10					
		0,1 ± 0,02 Taux de sortie / contre-lame	40%	10%								40%			10%	6	38%	3,1	1,5	1,3	
Contre-lames	Polypropylène	39 ± 0,3 Longueur	40%	10%											8	7%	2,5	1,6	1,5		
		9 ± 0,05 largeur	10%	10%	10%	40%									6	23%	1,8	1,6	1,2		
		Nature	10%	10%	10%							40%	40%	40%	10						
Lubrifiant	Aloe	33 ± 0,1 Longueur		10%		10%									10	5%	2,5	2,3	2		
		1 ± 0,1 largeur		70%		10%	70%								10	5%	2,5	2,3	2		
		0,3 ± 0,05 Epaisseur				40%		40%							6	25%	2	1,8	1,1		
		Nature	40%	10%	70%	40%	100%				100%	100%	100%		8						
Capuchon	Polyéthylène	0 ± 1° Parallélisme / contre-lame												100%	4	28%	1,4	1,3	0,9		
		41 ± 0,3 Longueur													10	7%	3	2,7	2,5		
		11 ± 0,2 largeur													10	9%	2,8	2,5	2		
		Nature			10%									10							

Tableau 4.25 : 4^{ème} partie de la matrice d'impact : Calcul de la note qualité globale

La matrice d'impact globale telle que présentée dans ce paragraphe permet de synthétiser en un seul document facilement réalisable avec un simple tableur, l'ensemble des analyses qui devrait normalement être réalisées au cours d'une industrialisation comme :

- La déclinaison des fonctionnalités attendues du produit en caractéristiques élémentaires de ses composants (normalement faite avec l'outil QFD).
- La hiérarchisation de ces caractéristiques élémentaires en fonction de leurs impacts sur l'ensemble les fonctionnalités client (rarement formalisée).
- L'AMDEC Processus.
- La formalisation du plan de surveillance.
- Le retour d'information des capacités attendues sur la qualité prévisible du produit.

Dans une démarche traditionnelle, chacune de ces étapes fait l'objet d'une analyse spécifique et d'un document dédié faisant qu'il est souvent difficile d'avoir une cohérence globale.

Mais cette approche, beaucoup plus rapide en termes de durée d'analyse, devrait, d'un point de vue théorique, être moins exhaustive que l'AMDEC Processus classique, notamment en termes de recherche de causes. Cependant, l'approche proposée ici a été construite et testée en collaboration avec plusieurs entreprises, et malgré le reproche exprimé ci-avant, l'intérêt qu'elle a démontré est d'une telle importance que la construction de matrices d'impact fait désormais partie des outils obligatoires à mettre en œuvre dans le cadre de l'industrialisation des processus de ces entreprises.

Sans forcément la généraliser tout de suite en mettant l'AMDEC au rayon des antiquités, nous proposons de la restreindre, dans un premier temps, aux processus de réalisation pas trop complexes ; libre aux utilisateurs de la généraliser à l'ensemble des processus, après l'avoir testée et intégrée sur des cas « simples ».

8. Conclusion du chapitre

Dans le chapitre 2 consacré à la maîtrise de risque en fabrication, nous avons fait une description relativement exhaustive des meilleures pratiques actuelles, en en soulignant les principales difficultés d'application et nos conseils de mise en œuvre.

Cependant dans les entreprises, on constate que bon nombre de ces analyses de risque, notamment les AMDEC Processus, ne sont réalisées que parce qu'elles sont demandées par les clients dans le cadre de leur démarche d'assurance qualité. Il en résulte un certain rejet de la part des groupes d'analyse et donc une perte d'efficacité au regard du temps passé pour les réaliser.

Aussi, dans ce chapitre, nous avons proposé deux approches ayant pour but d'améliorer la pertinence et la vitesse de réalisation des analyses de risque :

- La première basée sur les outils classiques (notamment l'AMDEC Processus) mais menés selon un mode de réalisation qui nous est propre.
- La seconde, moins conventionnelle, que nous avons appelée « matrice d'impact globale ».

Le principe est de ne plus considérer les analyses de risque comme des outils de validation du processus d'industrialisation mais, en renforçant les liens entre ces deux livrables que

sont les analyses de risque et le plan de surveillance, de construire un plan de surveillance « lean », c'est-à-dire au juste nécessaire.

Dans notre première approche, le plan de surveillance est construit en deux phases :

- Pour les caractéristiques siglées « sécuritaires » lors de la conception, la puissance de détection nécessaire est déterminée en fonction d'un niveau que nous avons appelé SIL pour Safety Integrated Level ; ce niveau SIL correspondant au risque associé à chacune des racines process de l'arbre de défaillance modélisant la combinatoire des causes pouvant engendrer l'anomalie de ladite caractéristique sécuritaire.
- Pour les autres caractéristiques, le plan de surveillance associé est déterminé suite à une AMDEC Processus. Cependant, cette AMDEC est menée selon un mode de réalisation quelque peu novateur. En effet, après s'être fixé un seuil d'occurrence et n'avoir recherché les causes des anomalies que dans le cadre de la mise en œuvre d'actions correctives destinées à réduire les occurrences supérieures au seuil, la position du contrôle de chaque caractéristique est déterminée en fonction de l'occurrence restante et de la gravité de son anomalie afin que chaque caractéristique soit traitée à ISO-risque ; le choix du mode de détection étant, quant à lui, déterminée en fonction du mode de défaillance du process ayant généré ladite anomalie.

Cependant, cette première approche, même si elle répond parfaitement à l'objet d'améliorer la pertinence des analyses de risque, ne satisfait pas encore pleinement le second but qu'est d'améliorer leur vitesse de réalisation.

La seconde approche que nous avons proposée dans ce chapitre répond, elle, complètement à cet objectif par la construction d'un seul document que nous avons appelé « matrice d'impact globale », facilement réalisable avec un simple tableur. Ainsi, notre matrice d'impact regroupe :

- Une matrice fonctionnalités attendues du produit / caractéristiques élémentaires de ses composants, permettant de hiérarchiser l'ensemble des caractéristiques élémentaires des composants du système et donc d'en déterminer la gravité.
- Une analyse des causes de défaillances process susceptibles d'engendrer l'anomalie de ces caractéristiques élémentaires et donc d'en déterminer l'occurrence.
- La formalisation du plan de surveillance relatif à chaque caractéristique construit en fonction de couple occurrence – gravité et des modes de défaillance process afin que chaque caractéristique soit traitée à ISO-Risque.
- Une analyse de la qualité globale du produit déterminé en fonction des valeurs de capacités attendues sur la chacune de ses caractéristiques.

Ainsi, par l'une ou l'autre des approches proposées ici, on élabore un plan de surveillance construit au juste nécessaire rendant ces approches très attractives, aussi bien pour l'industrialisateur qui voit là un moyen de diminuer significativement la durée et donc le coût de ces analyses de risque tout en améliorant l'utilité, que pour le producteur qui voit son volume de contrôle diminuer.

CONCLUSION

« Au sein de cet environnement instable et turbulent, un seul élément reste constant: le changement »

Tenzin Gyatso (14^{ème} Dalaï-Lama)
1935 -

Conclusion

A notre connaissance, aucun recueil récent ne traite l'ensemble de la problématique de la maîtrise des risques lors du déploiement de processus de conception comme de fabrication. Aussi, dans cette thèse, nous avons tout d'abord voulu faire ce travail de synthèse par la description de l'ensemble des outils et méthodologies classiquement mis en œuvre dans le cadre de la conception ou de l'industrialisation de produits nouveaux, avant de proposer notre propre approche, fruit d'une quinzaine d'années d'expérience sur ces sujets auprès de diverses entreprises industrielles de tout secteur.

Dans le premier chapitre, nous avons décrit les différents outils d'analyse de risque classiquement mis en œuvre en conception. Parmi toutes les approches possibles, nous avons choisi de prendre comme référence les méthodologies déployées dans le cadre de la Sûreté de Fonctionnement des systèmes « automobile », secteur d'activité à notre avis le plus facilement transposable à l'ensemble des secteurs industriels de conception de systèmes complexes (électroménager, électronique grand public, etc...).

Nous avons ainsi décrit les quatre grands outils de la Sûreté de Fonctionnement que sont :

- Les **analyses fonctionnelles** dont l'objet est de rechercher puis de formaliser l'ensemble des fonctionnalités attendues par le client.
- Les **Analyses Préliminaires de Risques (APR)** dont l'objet est de rechercher, de façon macroscopiques, l'ensemble des macro-risques inhérents à la conception du système étudié afin de pouvoir mettre en œuvre toutes les solutions techniques ou méthodologiques pour les maîtriser.
- Les **AMDEC Produit** (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) dont l'objet est d'analyser l'ensemble des défaillances potentielles d'un système en termes de niveau de risque (combinaison des paramètres d'occurrence, de gravité et de détectabilité) afin de prioriser et puis de déterminer les actions correctives en termes de conception qu'il serait nécessaire de mettre en œuvre pour réduire les niveaux de risques les plus élevés.
- Les **arbres de défaillances** dont l'objet est de rechercher l'ensemble des causes et leur combinatoire en termes de « ET » et de « OU », pouvant entraîner une défaillance donnée. De tels arbres, outre l'intérêt de la représentation schématique de la mécanique pouvant générer la défaillance, permettent :
 - * De déterminer le niveau de robustesse du système par la notion de « niveaux de coupe » (nombre de causes élémentaires nécessaire à la survenue de l'événement redouté).
 - * D'allouer les objectifs de fiabilité à chaque « fournisseur » de composant en fonction de sa position dans l'arbre.
 - * De déterminer la fiabilité d'un système complet à partir de la connaissance de la fiabilité de chacune des racines de son arbre.

Ces outils ont été décrits de la façon la plus pédagogique possible afin que le lecteur puisse, s'il le désire, suivre le « mode d'emploi », en autonomie, sur ces propres conceptions.

Dans ce chapitre, nous avons également procédé à une analyse critique, encore non proposée dans la littérature, des différentes grilles de cotation des AMDEC Produit proposées par les principaux constructeurs automobiles (Les « big three » américains au

travers leur QS 9000, les constructeurs allemands au travers le VDA, PSA et Renault), analyse critique qui nous a permis de proposer nos propres grilles, « best of » des grilles constructeur, à notre avis très facilement transposables à la majorité des industries concepteurs de systèmes complexes.

Dans le second chapitre, nous avons continué ce travail de description des différents outils d'analyse de risque classiquement mis en œuvre, mais cette fois dans le cadre de l'industrialisation des systèmes. Ont ainsi été décrits :

- Le **diagramme flux** (process flow chart) qui permet de décrire l'enchaînement de l'ensemble des opérations élémentaires du flux, en précisant les données de sortie de chacune de ces opérations (une épaisseur, un diamètre, un parallélisme, etc...) ainsi que les principaux paramètres process influant sur ces données de sorties (une pression, une température, une vitesse, etc...).
- **L'AMDEC Processus** dont l'objet est d'analyser le niveau de risques inhérents à chaque opération élémentaire du diagramme de flux par l'évaluation de la criticité relative à chaque défaut potentiel (non réalisation des données de sorties de l'opération), produit des critères d'occurrence (probabilité d'apparition du défaut), de gravité (puissance de l'impact du défaut sur le client) et détection (aptitude du défaut à se faire détecter eu égard au plan de surveillance mis en œuvre).

Tout comme au chapitre 1, nous avons également réalisé dans ce chapitre une analyse critique des différentes grilles de cotation de l'AMDEC Processus proposées par les principaux constructeurs automobiles, avant de proposer les nôtres.

Cependant, force est de constater que la mise en œuvre de ces outils, aussi efficaces soient-ils, nécessite un temps si long qu'il est industriellement irréaliste d'imaginer les appliquer à l'ensemble des fonctions, composant ou opérations de fabrication d'un système complexe. Aussi, on remarque que, dans la majorité des entreprises, ces analyses sont soit faites à la « va-vite », soit réalisées partiellement, d'où un niveau de qualité / fiabilité inacceptable dans notre société moderne.

Aussi, comme le suggère Ronald Mascitelli dans son éditorial du Journal of Advanced Manufacturing Systems consacré au « Lean Design » [Mascitelli, 2005], il nous faut proposer une nouvelle boîte à outils pour permettre aux entreprises de conserver un niveau de risque acceptable dans un contexte de développement de plus en plus rapide de systèmes de plus en plus complexes et innovants. C'est dans cette optique que nous avons proposé dans les deux derniers chapitres de ce recueil une méthodologie globale de maîtrise des risques.

En nous appuyant sur les méthodologies d'analyses classiques, notre contribution a porté sur la proposition d'outils méthodologiques nouveaux, et sur l'adaptation de certains outils classiques par une foultitude de petites améliorations dans leur mise en œuvre, afin de rendre la démarche de sécurisation moins chronophage et donc plus pertinente que les approches classiques.

Notre travail a ainsi été construit autour de 2 grandes idées :

- 1- Toutes les défaillances, selon leur impact client, ne doivent pas être traitées avec la même puissance d'analyse et donc pas avec les mêmes outils.
- 2- Les modes de validation et de détection doivent constituer la donnée de sortie pour les analyses de risque, de telle sorte que les documents opérationnels, que sont les

plans de validation et surveillance, soient construits au juste nécessaire en fonction de l'occurrence et de l'impact client de chacune des défaillances envisagées.

Nous avons ainsi proposé de faire les analyses de risque en deux passes : la première, complète en termes de couverture de champ mais peu profonde en termes de puissance d'analyse servant à paramétrer la seconde, beaucoup plus poussée mais seulement réalisée sur les points clés. L'outil de paramétrage ici utilisé est l'APR (Analyse Préliminaire de Risque) que nous avons revisité pour aiguiller les analyses à réaliser pour construire les plans de validation et surveillance.

Ainsi, pour les défaillances à impact de type sécuritaire, nous avons proposé de construire les plans de validation et surveillance en fonction du niveau SIL (Safety Integrated Level) issu de notre adaptation de l'outil arbre de défaillance et de la norme de sécurité fonctionnelle CEI 61508.

Pour les autres défaillances, les modes de détection ou validation seront issus d'analyses de risque de telle sorte que chaque défaillance soit traitée à ISO Risque grâce à la formule : $D = C / O.G.$ Pour mener notre approche, nous utiliserons :

- Soit l'outil AMDEC classique mais mis en œuvre selon une méthodologie innovante pour être plus en phase avec les principes posés plus haut.
- Soit un outil complètement nouveau, issu du QFD, que nous avons appelé « matrice d'impact globale », cet outil présentant l'avantage de synthétiser, sur un même document :
 - * La hiérarchisation des caractéristiques élémentaires des composants du système, en fonction de leur impact sur les fonctionnalités attendues par le client.
 - * L'analyse de risque type AMDEC Processus.
 - * La formalisation du plan de surveillance.
 - * Une estimation de la qualité globale du produit en fonction des niveaux de capacité attendus sur les différentes caractéristiques de composants.

Ce dernier outil ayant été particulièrement conçu pour la construction de plans de surveillance de systèmes pas trop complexes.

Pour rester en phase avec la plupart des organisations industrielles, nous avons également séparé notre approche en deux chapitres, un consacré à la construction de plan de validation pour les phases conception (le chapitre 3) et un consacré à la construction des plans de surveillance en phase industrialisation (le chapitre 4).

Par les outils et méthodologies proposés dans ce recueil, a priori directement applicables dans bon nombre d'industries car déjà testées en conditions réelles de multiples fois, nous espérons avoir apporté une pierre significative à l'édifice de la sécurisation des développements.

En effet, par leur mise en œuvre, on **diminue significativement la durée et donc le coût** apparent des analyses de risque tout en **en améliorant la pertinence**. Les plans de validation et de surveillance qui en découlent, généreront un **volume de validations / détections à mettre en œuvre réduit** car construits au juste nécessaire.

Grace à notre approche, nous espérons que les analyses de risque ne soient plus perçues comme une contrainte, aussi bien par les chefs de projets que par les équipes d'analyse eux-mêmes, mais comme un réel moyen de **faire progresser la qualité / fiabilité** des produits à **coût maîtrisé** en euros comme en heures, éléments indispensables à la survie de nos entreprises dans le contexte macro-économique actuel.

Cependant, les approches proposées ici pour réduire les temps de construction et améliorer l'efficacité des plans de validation comme des plans de surveillances, peuvent être qualifiées de méthodologiques. Les perspectives de recherche qui apparaissent à la suite de ce travail portent, à notre avis, sur les façons d'accélérer sur les façons d'accélérer encore la mise en œuvre de notre approche grâce notamment à l'utilisation de l'outil informatique par :

- La constitution de bases de données de risque génériques, construites à partir des conceptions antérieures et disponibles sur le réseau interne des entreprises [Huang, 2000], pour permettant aux groupes de travail de réaliser leurs analyses et notamment les APR avec un maximum de vitesse et un minimum de variabilité.
- La formalisation des liens entre AMDEC Produit et AMDEC Processus, qui permettrait de créer automatiquement la trame de l'AMDEC Processus à partir des risques évalués en AMDEC Produits. On pourra noter que de tels liens ont déjà été ébauchés par des logiciels de type de ceux développés par la société TDC, mais ils ne permettent pas encore de construire l'AMDEC Processus « automatiquement ».
- Enfin, la méthodologie innovante que nous avons proposée sur la recherche de la note d'occurrence dans la matrice d'impact mérite d'être encore améliorée. En effet dans le cas de processus connus comme l'usinage, l'injection, etc., la sélection des items à risque devrait pouvoir être générée en automatique à partir des logiciels intégrés de dessin type CATIA. On pourrait ainsi imaginer que le projeteur voie automatiquement et en temps réel l'impact en termes de risques de chaque pièce dessinée ou caractéristique cotée et donc disposer dès la CAO d'une matrice d'impact en grande partie générée automatiquement.

BIBLIOGRAPHIE

« Une bibliothèque, c'est le
carrefour de tous les rêves de
l'humanité »

Julien Green
1900 - 1998

Bibliographie

- AFNOR – NFX 60-500 : *Terminologie relative à la fiabilité - Maintenabilité – Disponibilité* - Octobre 1988
- AFNOR – NFX 06-033 : *Aptitude des moyens de production et des processus de fabrication*— Octobre 1995
- AFNOR – NFX 06-031-0 : *Cartes de contrôle, principe généraux* - Décembre 1995
- AFNOR – *FDX 50 180 : Management de la qualité - Défauts de contribution - Défauts liés à la non-qualité du travail dans la création et l'utilisation de la valeur ajoutée* – Juin 1999.
- AFNOR – *NF EN 12973 : Management par la valeur* — Juin 2000
- AFNOR – *NF X50-151 : Management par la valeur - Expression Fonctionnelle du Besoin et cahier des charges fonctionnel - Exigences pour l'expression et la validation du besoin à satisfaire dans le processus d'acquisition ou d'obtention d'un produit* – Septembre 2007
- AFNOR – NFX 50-152 : *Management par la valeur - Caractéristiques fondamentales de l'analyse de la valeur*— Septembre 2007
- AFNOR – *XP E 04-008 : Calcul de tolérance, indications et critères d'acceptation* – Juillet 2009.
- Akao Y., Mizuno S. – *QFD: The Customer-Driven Approach to Quality Planning & Deployment* – Asian Productivity Organization— Février 1994
- Alfares H. – *A simulation model for determining inspection frequency* – Computers & Industrial Engineering, Volume 36, Issue 3, pp 685-696 – Juillet 1999.
- Arcidiacomo G., Capitani R., Citti P., Pinachi C., Rosti D. – *A new integrated approach to the design of a race car suspension* – 4th International Conference on Axiomatic Design – Firenze (IT), Juin 2006.
- Azaron A., Katagiri H, Sakawa M, Kato K, Memariani A – *A multi-objective resource allocation problem in PERT networks* – European Journal of Operational Research, Volume 172, Issue 3, pp 838-854 – Août 2006.
- Baines T., Lightfoot H., Williams G. M., Greenough R. – *State-of-the-art in lean design engineering: a literature review on white collar lean* – Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of engineering Manufacture, Vol. 220, pp 1539-1547 – Mai 2006.
- Bothe K.R. – *World Class Quality: Les 7 outils Shainin de la qualité* – Dunod – 2003
- Boucon T., Chase R. – *l'Analyse préliminaire de risqué en conception : application au scaphandre spatial EVA* – disponible sur internet à l'adresse : http://ergonomie.bertin.fr/fr/nos_references/publications/l_analyse_preliminaire_des_risques_en_conception.pdf
- Breiling A.J., Kunz A.M. – *Critical Consideration and Improvement of the FMEA* – Proceedings of the TMCE 2002, pp 519-530 – Avril 2002
- Bretesch (de la) B. – *La méthode APTE : Analyse de la Valeur, Analyse Fonctionnelle* – Petrelle – 2000
- Brulebois C., Perrenot G., Saintvoirin B. – *6 sigma – le guide !* – AFNOR – 2007
- Carbone T.A., Tippet D.D. – *Projet risk management using the project risk FMEA* – Engeneering Management Journal, vol 16, Issue 4, pp 28-35 – Décembre 2004

- Cassanelli G., Mura G., Fantini F., Vanzy M., Plano B. – *Failure Analysis-assisted FMEA– Microelectronics Reliability*, volume 46, issues 9-11, pp 1795–1799 – Septembre-novembre 2006.
- Castro J., Gomez D., Trejada J – *A rule for slack allocation proportional to the duration in a PERT network* – *European Journal of operational Research*, volume 187, Issue 2, pp 556-570 – Juin 2008
- Chen J.K. – *Utility Priority Number Evaluation for FMEA* – *Journal of failure analysis and Prevention*, Volume 7, Number 5, pp 321-328 – Octobre 2007.
- Chin K.-S., Wang Y.-M., Poon G. K., Yang J.-B. – *Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean* – *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 2, Part 1, pp 1195-1207 – Mars 2009.
- Chin K.-S., Wang Y.-M., Poon G. K., Yang J.-B. – *Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach* – *Computers & Operations Research*, volume 36, issue 6, pp 1768-1779 – Juin 2009.
- Chowdhury S. – *Designs For Six Sigma* – FT Prentice Hall - 2003
- Chrysler, Ford, General Motors - QS9000 – *Advanced Product Quality Planning (APQP) and Control Plan 2nd edition* – Février 1995
- Chrysler, Ford, General Motors – QS9000 – *Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) 4th edition* – Juin 2008
- Co D.R., Oakes D. – *Analysis of Survival Data* – Copyrighted Material – 1984
- Commission Electrotechnique internationale – CEI 61508 – *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité* – Janvier 2005
- Conseil européen – 85/374/CEE – *Directive du conseil relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des états membres en matière de responsabilité du fait des produits défectueux* – 25 Juillet 1985
- Creveling C.M., Slutsky J.L., Antis Jr D. – *Design For Six Sigma : In technology and product development* – Prentice Hall PTR - 2003
- David R., Alla H. – *Du Grafset aux réseaux de Petri, 2^{ème} édition* – Hermès – Novembre 1992.
- De Toni A., Nassimbeni G., Tonchia S., – *Innovation in product development within the electronics industry* – *Technovation*, volume 19, pp 71-80 – 1999.
- Eckes G. – *Objectif Six sigma* – Village mondial – 2006
- Faucher J. – *Pratique de l'AMDEC, assurez la qualité et la sûreté de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés* – Dunod – Juin 2009
- Ferdous R., Khan F.I., Veitch B., Amyotte P.R. – *Methodology for computer-aided fault tree analysis* – *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 85, Issue 1, pp 70-80 – Janvier 2007.
- Fowlkes W.Y., Creveling C.M. – *L'ingénierie robuste* – Dunod – 1998
- Freire J., Alarcon L.F. – *Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology* – *Journal of Construction Engineering and management*, Volume 85, Issue 1, pp 248-256 – Mai-Juin 2002.
- Gaury SK., Chakraborty S. – *Feature-based recognition of control chart patterns* – *Computer & Industrial engineering*, Volume 51, Issue 4, pp 726-742 – Décembre 2006.
- Gautam N., Singh N. – *Lean product development: Maximizing the customer perceived value through design change (redesign)* – *International Journal of production economics*, Volume 114, Issue 1, pp 313-332 – Juillet 2008.
- Goupy J. – *Introduction aux plans d'expériences* – Dunod – Avril 2009

- Granhölm J. – *The use of FMEA in Product Development* – 2nd seminar on Development of Modular Products, Dalarna University (Sweden), pp 109-114 – Décembre 2004.
- Harry M. – *The Nature of Six Sigma Quality* – Motorola University Press – Juin 1988
- Herron C., Hicks C. – *The transfer of selected lean manufacturing techniques from Japanese automotive manufacturing into general manufacturing (UK) through change agents* – Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 24, Issue 4, pp 524-531 – Août 2008.
- Huang G.Q., Shi J., Mak K.L. – *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) over the WWW* – International Journal of advanced manufacturing Technology, Volume 16, Number 8, pp 603-608 – Juillet 2000.
- Institut de Maîtrise des Risques (IMDR), Groupe de travail Management Méthodes Outils Standard (M2OS) – *Fiches méthodes* – Avril 2006.
- International Standard Organisation – *ISO 9000 : Systèmes de management de la qualité : Principes essentiels et vocabulaire* – Octobre 2005
- International Standard Organisation – *ISO TS 16949 : Exigences particulières pour l'application de l'ISO 9001:2000 pour la production de série et de pièces de rechange dans l'industrie automobile* – Juin 2002.
- International Standard Organisation – *ISO 9001 : Système de management de la qualité : Exigences* – Novembre 2008.
- Johnson K.G., Khan M.K. – *A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK* – Journal of Materials Processing Technology, Volume 139, Issues 1-3, pp 348-356 – Août 2003.
- Itabashi-Campbell R., Yadav O.P. – *Gauging quality and reliability assurance efforts in product development process* – International Journal of Process Management and Benchmarking, Volume 2, Issue 3, pp 221-233 – Avril 2008.
- Kano N., Nobuhiko S., Fumio T., Shinichi T. – *Attractive Quality and Must-Be Quality* – Journal of the Japanese Society for Quality Control, volume 14, Issue 2, pp 147-156 – Avril 1984.
- Kara-Zaitri C., Keller A., Barody I., Fleming P. – *An Improved FMEA Methodology* – IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium, p. 248-252 – 1991.
- Kim S. H., Yoon Y.H., Zeon G-T. – *Combine Quality and Speed to Market* – Six Sigma Forum magazine, Volume 3, Number 4, pp 26-31 – Aout 2004.
- Landy G. – *AMDEC Guide pratique* – AFNOR – 2002.
- Lannoy A. – *Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement : Repères historiques et méthodologiques* – Lavoisier – 2008
- Lievens C. – *Sécurité des systèmes* – Cépadués Toulouse - 1976
- Ligeron J.C. – *Le cercle des fiabilistes disparus ou critique de la raison fiabiliste* – Editions Préventique – 2006.
- Liker J.K. – *The Toyota Way* – McGraw-Hill – Décembre 2003
- Limnions N. – *Arbres de défaillance, 2^{ème} édition* – Lavoisier Hermès – Avril 2005.
- Louapre B. – *La qualité s'il vous plait* – Editions d'organisation – 1992
- Mabrouck H. H. – *L'analyse préliminaire de risques* – Hermès Paris- 1997
- Mascitelli R. – *Lean Design Guidebook: Everything Your Product Development Team Needs to Slash Manufacturing Cost* – Technology Perspectives – Mai 2004.
- Ma Y.-S., Chen G., Thimm G. – *Paradigm shift: unified and associative feature-based concurrent and collaborative engineering* – Journal of Intelligent Manufacturing, Volume 19, Number 6, pp 625-641 – Décembre 2008.

- Mascitelli R. – Editorial: *Lean design as a competitive mandate* – Journal of Advanced Manufacturing Systems, Volume 4, Issue 1, pp 1-4 – Juin 2005.
- Mc Ivor R. – *Lean supply: the design and cost reduction dimensions* – European Journal of Purchasing & Supply Management, Volume 7, Issue 4, pp 227-242 – Décembre 2001.
- Narayanagounder S, Gurusami K – A New Approach for Prioritization of Failure Modes in Design FMEA using ANOVA – World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol.37 – Janvier 2009.
- Nelson W.B. – *Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis* – Copyrighted Material – 1990.
- Ozouf V. – *Comment construire son plan de maintenance au juste nécessaire en fonction des commandes client* – Qualité Référence N°18 – Octobre 2002.
- Pages A., Gondran M. – *Fiabilité des systèmes* – EYROLLES – novembre 1980.
- Perroud G., Gomez C. – *Une méthode pour accéder au juste nécessaire* – Qualita 99, 3^{ème} congrès international pluridisciplinaire – Mars 1999.
- Peugeot SA – Procédure interne A12 40 50 – *Analyse fonctionnelle* – Avril 1997.
- Peugeot SA – Procédure interne Q710120 – *Principes et exigences relatifs aux plans de surveillance* – Décembre 1997.
- Peugeot SA – Procédure interne Q710130 – *Guide pour l'élaboration et exploitation des plans de surveillance* – Janvier 1998.
- Peugeot SA – Procédure interne A15 21 50 – *Cahier des charges fonctionnel* – Février 1998.
- Peugeot SA – Guide APR9902RSDF – *La méthode Analyse Préliminaire de Risques* – 1999
- Peugeot SA – Procédure interne Q242110 – *AMDEC Processus* – 1999.
- Peugeot SA – Procédure interne Q242120 – *AMDEC Produit_Système* – Février 2003.
- Peugeot SA – DMGP/MCMP : *Analyse fonctionnelle interne : Manuel de référence* – Janvier 2005
- Perigord M. – *Réussir la Qualité Totale* – Editions d'organisation – Février 1987
- Phadke M.S. – *Quality Engineering Using Robust Design* – Prentice Hall – 1989
- Pierreval H., Durieux-Paris S. – *Robust simulation with a base environmental scenario* – European Journal of Operational Research Vol.182, pp 783-793 – Octobre 2007.
- Pillet M. – *Les plans d'expériences par la méthode TAGUCHI* – Les éditions d'organisation – 1997
- Pillet M. – *Appliquer la maîtrise statistique des processus MSP / SPC* – Editions d'organisation – 2005
- Pollock S. – *Create a Simple Framework To Validate FMEA Performance* – Six Sigma Forum Magazine, Volume 4, Number 4, pp 27-34 – Aout 2005.
- Renault SA – Norme 01.33.200 – *AMDEC (Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité)* - 2000
- Renault SA – Norme 66050-DFM00-MQA-G1 – *Matrice QA* – 2001
- Rhee S. J., Ishii K. – *Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability* – Advanced Engineering Informatics, vol 17, Issues 3-4, pp 179–188 – Juillet-Octobre 2003.
- Rochon S. – Thèse : *Méthodologie de conception fiable des produits industriels associant l'approche expérimentale et l'expertise* – CNAM - 1996
- Ross D.T. – *Applications and Extensions of SADT* – Computer, vol 18, Issue 4, pp 25–34 – Avril 1985.
- Sado G., Sado M-C. – *Les plans d'expériences : De l'expérimentation à l'assurance qualité* – AFNOR Technique – 1991

- Sahoo A.K., Singh N.K., Shankar R., Tiwari M.K. – *Lean philosophy: implementation in a forging company* – The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 36, Numbers 5-6, pp 451-462 – Mars 2008.
- Sodenborg N.R. – *Design for Six Sigma at Ford* – Six Sigma Forum Magazine, Volume 4, Number 1, pp 15-22 – Novembre 2004.
- Stamatis D.H. – *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution* – ASQ Quality press book - 2003.
- Taguchi G. – *The System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs* – Gilmour Drummond Publishing – Décembre 1987
- Taguchi G., Wu Y., Wu A. – *Taguchi Methods for Robust Design* – American Society of Mechanical Engineers – Juin 2000
- Tiplica T., Barreau A., Kobi A. – *Optimisation et maîtrise des processus multivariés: La méthode FNAD = Multivariate statistical control and optimization* – Journal européen des systèmes automatisés – 2003
- Union Technique de l'Electricité (UTE) – UTE C 20-318 ou CEI 1025 – *Analyse par Arbre de Panne (AAP)* – 1990
- Union Technique de l'Electricité et de la communication – UTE C 80-810 – *Recueil de données de fiabilité – Modèle universel pour le calcul de la fiabilité prévisionnelle des composants, cartes et équipements électroniques* – Aout 2005
- USA Department of Defense – MIL-HDBK-217F – *RELIABILITY PREDICTION OF ELECTRONIC EQUIPMENT* – Décembre 1991
- Valeo – *Méthode 5 axes* – 1991
- Valery P. – *Mauvaises pensées et autres* – Gallimard – Octobre 1942
- Vaurio J.K. – *Common cause failure probabilities in standby safety system fault tree analysis with testing—scheme and timing dependencies* – Reliability Engineering and System Safety, Volume 79, Issue 1, pp 43-57 – Janvier 2003.
- VDA – *System FMEA* – 1996
- Villemeur A. – *Sûreté de Fonctionnement des systèmes industriels* – Eyrolles Paris – 1987
- Wang J.X. – *Engineering Robust Designs with six sigma* – Prentice Hall Professional Technical Reference- 2005
- Womack J.P., Jones D.T. – *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation* – Simon & Schuster – Septembre 1996
- Zachman J.A. – *A framework for information systems architecture* – IBM Systems Journal, Volume 38, N°2&3, pp 454-470 – 1999.