

# Développement d'un outil pour l'identification des caractéristiques clés à inspecter

Cybèle SERIN, Alaa HASSAN

Laboratoire de Conception, Fabrication, Commande (LCFC)  
CER Metz - Arts et Métiers Paris Tech  
Metz, France  
alaa.hassan@ensam.eu  
cybele.serin@ensam.eu

Jean-Yves DANTAN, Ali SIADAT

Laboratoire de Conception, Fabrication, Commande (LCFC)  
CER Metz - Arts et Métiers Paris Tech  
Metz, France  
jean-yves.dantan@ensam.eu  
ali.siadat@ensam.eu

**Résumé**— Afin d'optimiser les plans d'inspection, une méthodologie, nommée ACDE (Analyse de la Causalité, des Défaillances, et de leurs Effets) a été développée dans le cadre d'une thèse au sein du laboratoire LCFC. Après une étude du principe de fonctionnement de l'ACDE, un modèle des données a été proposé pour cette méthode et un cahier des charges a été établi. Basé sur le modèle proposé, une maquette informatique a été développée à l'aide du langage Vb.net. Une étude de cas sur un exemple issu de l'industrie a été menée afin de valider le modèle et la maquette développée.

**Keywords**—outil informatique; caractéristiques clés; plan d'inspection; contrôle de conformité; suivi de fabrication; AMDEC; KC Flowdown; ACDE

## I. INTRODUCTION

Le travail présenté dans cet article s'est déroulé dans le cadre du projet AHTOLA (Advanced Hybrid method for the Tolerance Analysis of complex system) porté par le Laboratoire de Conception Fabrication Commande (LCFC) de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Metz. Tout produit manufacturier est soumis à des variations de ses caractéristiques géométriques qui peuvent être inhérentes aux procédés et processus de fabrication. La prise en compte de ces variations est essentielle dans la phase de développement d'un produit. L'analyse des tolérances consiste à analyser l'impact de ces variations admissibles sur le comportement du produit, et ainsi vérifier que les tolérances allouées sur chaque composant permettent la satisfaction des exigences fonctionnelles avec un niveau de qualité maîtrisé, tout en minimisant les rebuts de fabrication.

C'est dans ce contexte qu'a émergé la volonté de développer un outil permettant de guider l'analyse des tolérances. Le principe sur lequel repose cet outil est alors d'identifier les caractéristiques clés à contrôler lors du processus d'inspection et plus spécifiquement d'identifier celles nécessitant un contrôle particulier des tolérances. Le concepteur peut ainsi, grâce à ces données, focaliser son étude sur l'analyse des tolérances de ces caractéristiques clés. D'autre part, l'outil permettra également de discerner les tolérances essentielles pour l'établissement du plan d'inspection.

Une ébauche d'un outil, considéré davantage comme une

methodologie, a été conçue au sein du laboratoire LCFC dans le cadre d'une thèse [1]. Cette méthodologie est baptisée ACDE (Analyse de la Causalité, des Défaillances, et de leurs Effets). Le projet a ainsi pour ambition de poursuivre le développement de cette méthodologie afin de répondre aux enjeux décrits précédemment et de créer un outil informatique permettant d'automatiser cette méthodologie.

Dans cet article, nous nous concentrerons tout d'abord sur la méthodologie précédemment créée afin d'en extraire les informations nécessaires pour poursuivre son développement. Dans un second temps, nous présenterons le cahier des charges de l'outil à développer. Pour cela, nous présenterons l'analyse du besoin et la modélisation des données de l'outil à développer en utilisant le langage UML (Unified Modeling Language) [2]. Enfin le fonctionnement de l'outil est illustré sur un exemple industriel : une pompe hydraulique.

## II. ANALYSE DE LA CAUSALITE, DES DEFAILLANCES, ET DE LEURS EFFETS (ACDE)

La méthodologie ACDE développée au sein du laboratoire LCFC a pour objectif d'aider les entreprises à réaliser un plan d'inspection optimum. L'inspection est en effet nécessaire afin de garantir la qualité des produits finis. Cependant, un compromis doit être trouvé afin de garantir la qualité mais également la productivité du système de fabrication. Pour cela, il est nécessaire d'identifier ce qu'on souhaite contrôler, comment le contrôler et quand le contrôler.

La méthodologie se concentre exclusivement sur l'identification de ce qu'on souhaite contrôler, c'est à dire l'identification des caractéristiques clés à contrôler car il s'agit de la partie la plus subjective du plan d'inspection. La méthodologie proposée souhaite ainsi rendre cette identification la plus objective possible.

Deux critères principaux sont alors retenus pour identifier ces caractéristiques clés : La satisfaction du client vis-à-vis du produit livré et la difficulté de réalisation qui dépend de la capabilité des moyens de production. D'autre part, il faut également prendre en considération les différents niveaux qui peuvent être inspectés notamment par contrôle de conformité ou suivi de fabrication : le niveau produit, le niveau pièce, le niveau processus.

Xème Conférence Internationale : Conception et Production Intégrées, CPI 2015, 2-4 Décembre 2015, Tanger - Maroc.

Xth International Conference on Integrated Design and Production, CPI 2015, December 2-4, 2015, Tangier - Morocco.

La méthodologie doit ainsi permettre une analyse multicritères et multiniveaux. La complémentarité des outils d'AMDEC [3] et KC Flowdown (Key Characteristics Flowdown) [4] a été choisie comme point de départ à la création de la méthodologie ACDE. Cet outil prend la forme de plusieurs tableaux qui vont permettre à la fois à l'utilisateur de saisir les différentes données issues de la conception mais également d'exploiter les résultats, selon une stratégie de l'entreprise établie, afin de définir les caractéristiques clés à contrôler. Le tableau ACDE est illustré dans Fig. 1 avec la propagation de la gravité et de la difficulté de réalisation.

### A. Etablir le tableau ACDE

Ce tableau regroupe ainsi trois tableaux qui possèdent une structure similaire mais qui ne s'appliquent pas au même niveau. Le premier s'applique au niveau du produit, le second aux niveaux des pièces et le troisième au niveau du processus. On note qu'il y aura autant de tableaux de second et de troisième niveau qu'il y a de pièces. Chaque tableau est à remplir selon 7 colonnes différentes :

- On référence les différentes fonctions de service que le produit doit satisfaire
- On mentionne les exigences et les critères d'inspection qui permettent d'inspecter les fonctions de services de la colonne 1. On note que plusieurs critères peuvent satisfaire une même fonction.
- Les fonctions techniques élémentaires, notées FTEs, correspondent aux contraintes techniques que doivent respecter un produit pour satisfaire les fonctions de service. Ces FTEs peuvent être réalisées par plusieurs pièces ou par une pièce unique. On fait alors correspondre les FTEs aux fonctions correspondantes dans le tableau, on note qu'une FTE peut correspondre à différentes fonctions et qu'une fonction peut avoir différentes FTEs. On ajoute également un impact, nommé impact fonction/FTE, qui permet d'estimer l'importance de la réalisation des FTEs dans la satisfaction des fonctions du produit.
- On ajoute les spécifications fonctionnelles qui caractérisent une ou plusieurs FTEs. Selon la pièce considérée, une même FTE peut avoir des spécifications différentes. On estime également un impact, nommé impact Spécification/FTE qui évalue l'impact de la spécification sur la FTE correspondante.
- On inscrit en colonne 6 la gravité de la fonction. La gravité est un nombre, entre 1 et 10, qui permet d'évaluer l'importance de la satisfaction de la fonction concernée. Il y a donc autant de gravités que de fonctions en colonne 1. De même on inscrit en colonne 7 la difficulté de réalisation qui est également un nombre et qui renseigne sur la capacité du processus.

Pour chaque pièce et chaque opération, il est nécessaire de reproduire le tableau correspondant dans la même logique précédente :

- Au niveau pièce, on ajoute les opérations du processus de fabrication de chaque pièce en quatrième colonne.

Elles permettent la satisfaction des FTEs par l'intermédiaire des spécifications. Pour les identifier, il faut notamment s'appuyer sur la gamme de fabrication, les contrats de phases et les spécifications à réaliser. Une FTE peut être réalisée par plusieurs opérations et une opération peut se rapporter à plusieurs FTEs. On renseigne également l'impact, nommé impact OP/spécif qui permet de connaître l'importance de la réalisation de l'opération sur la réalisation de la FTE. Cet impact dépend de la spécification considérée car une même opération peut correspondre à plusieurs spécifications au sein d'une même FTE ; l'impact est donc différent d'où la notation OP/spécif et non OP/FTE.

- On renseigne les paramètres du processus associés à chaque opération, ils peuvent être issus de la gamme de fabrication détaillée. On renseigne également l'impact, nommé impact paramètre/op, qui chiffre l'importance du paramètre sur l'efficacité de l'opération.
- Au niveau processus, on renseigne la difficulté de réalisation de l'opération qui englobe les notions de capacité et de défaillance du système de production.

Fig. 1 permet de visualiser le niveau auquel la saisie des données est effectuée. Par exemple on remarque que la saisie des fonctions se fait au niveau du produit (couleur rouge). Ce tableau met également en évidence la répétition de certaines données au moyen des flèches (les flèches descendantes sont en uni et les flèches ascendantes sont en tiret). Ainsi les fonctions apparaissent en 1ère colonne du tableau d'analyse du produit mais également en 3ème colonne de l'analyse de la pièce. Cette propagation des données possède l'avantage de permettre une visualisation des liens entre les caractéristiques aux différents niveaux mais accroît le temps de saisies des données.

D'autre part, certaines données ne peuvent pas être saisies directement, il s'agit de la difficulté de réalisation des fonctions de service, de la gravité et de la difficulté de réalisation des fonctions techniques élémentaires et la gravité des opérations de fabrication (couleur blanche).

| Niveau         | Fonction-Opération             | Critère d'acceptation « quantitatif » | Peur-quoi                      |                | Comment                        |              |                                       | Gravité | Difficulté de réalisation |                                       |
|----------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------|---------------------------------------|---------|---------------------------|---------------------------------------|
|                |                                |                                       | Fonction                       | Est impacté de | Fonction-Opération             | Contribution | Critère d'acceptation « quantitatif » |         |                           | Contribution                          |
|                | 1                              | 2                                     | 3                              | 4              | 5                              | 6            | 7                                     |         |                           |                                       |
| I. Produit     | Fonction de produit            | Exigence - Critère d'inspection       | Pourquoi                       | Est impacté de | Fonction Technique Élémentaire | Impact       | Spécification fonctionnelle           | Impact  | Gravité de fonction       | Difficulté de réalisation de fonction |
|                | Fonction 1                     |                                       |                                |                | FTE1                           | 1            |                                       |         | 8                         |                                       |
|                | Fonction 2                     |                                       |                                |                | FTE2                           | 6            |                                       |         | 8                         |                                       |
|                |                                |                                       |                                |                | FTE3                           | 5            |                                       |         | 3                         |                                       |
| II. Pièce      | Fonction Technique Élémentaire | Spécification - Critère d'inspection  | Fonction de produit            | Est impacté de | Opération                      | Impact       | Paramètre de processus                | Impact  | Gravité de FTE            | Difficulté de réalisation de FTE      |
|                | FTE1                           |                                       | fonction 1                     | 1              | OP1                            | 2            |                                       |         | 6                         |                                       |
|                | FTE3                           |                                       | fonction 2                     | 5              |                                |              |                                       |         | 3                         |                                       |
| III. Processus | Opération de processus         | Paramètre de - Critère d'inspection   | Fonction Technique Élémentaire | Est impacté de | Comment                        | Impact       | Document « quantitatif »              | Impact  | Gravité d'opération       | Difficulté de réalisation d'opération |
|                | OP1                            |                                       | FTE1                           | 2              |                                |              |                                       |         | 4                         |                                       |

Fig 1. Tableau ACDE, exemple illustrant la propagation de la gravité et de la difficulté de réalisation.

### B. Exploitation des données

Le processus d'exploitation des données conduit à l'identification des caractéristiques clés. A l'aide des deux facteurs de risques que sont la gravité et la difficulté de réalisation, la méthodologie propose une matrice, nommée matrice de criticité, qui affecte une activité d'inspection ou une absence d'inspection à la caractéristique évaluée. Ces caractéristiques peuvent être une fonction de service, une fonction technique élémentaire ou une opération.

Ainsi, si les facteurs de risques de la caractéristique à contrôler sont tous les deux faibles, aucun contrôle n'est préconisé. Si la note de gravité est très élevée, la satisfaction du client dépend fortement de la réalisation de cette caractéristique ainsi un contrôle de conformité est suggéré. D'autre part, si la note de difficulté de réalisation est élevée, un suivi de fabrication de la caractéristique est recommandé. Enfin, si les deux facteurs de risques sont élevés, le plan d'inspections s'oriente vers une co-conception du contrôle de conformité et du suivi de fabrication. La matrice de criticité est exposée en Fig. 2. On note que cette matrice est à adapter au contexte de l'entreprise.

A l'aide de la matrice de criticité et en déployant des heuristiques, il est possible de connaître les activités d'inspection préconisées pour l'ensemble des caractéristiques. L'ACDE prévoit une visualisation des caractéristiques et de leur état d'inspection à l'aide d'une forme de KC Flowdown. Afin de montrer le principe de cette représentation, Fig. 3 illustre le KC Flowdown d'une pompe hydraulique qui fait l'objet de notre étude de cas industriel. On considère que les trois tableaux d'AMDEC (produit, pièce et processus) ont déjà été saisis et qu'il ne reste qu'à exploiter les données de ces tableaux pour identifier les caractéristiques clés.

Chaque case représente une caractéristique : les fonctions de services issues de la première colonne du tableau d'analyse du produit au premier niveau du KC Flowdown, les fonctions techniques élémentaires issues de la premières colonnes des tableaux d'analyse du composant au deuxième niveau et les opérations de fabrication issues de la première colonne des tableaux d'analyse du processus au dernier niveau. Les notes de gravités apparaissent en haut des cases en rouge, celles de difficultés de réalisation en bas en vert.

|                           |      | Gravité              |     |                        |  |      |
|---------------------------|------|----------------------|-----|------------------------|--|------|
|                           |      | 1-2                  | 3-4 | 5-6                    | 7-8  | 9-10 |
| Difficulté de réalisation | 1-2  | Absence d'inspection |     |                        | Contrôle de conformité                         |      |
|                           | 3-4  | Absence d'inspection |     | Contrôle de conformité |  |      |
|                           | 5-6  | Absence d'inspection |     | Contrôle de conformité |  |      |
|                           | 7-8  | Suivi de fabrication |     |                        | Contrôle de conformité et suivi de fabrication |      |
|                           | 9-10 | Suivi de fabrication |     |                        | Contrôle de conformité et suivi de fabrication |      |

Fig 2. Matrice de criticité permettant de préconiser les activités d'inspection aux caractéristiques [1].

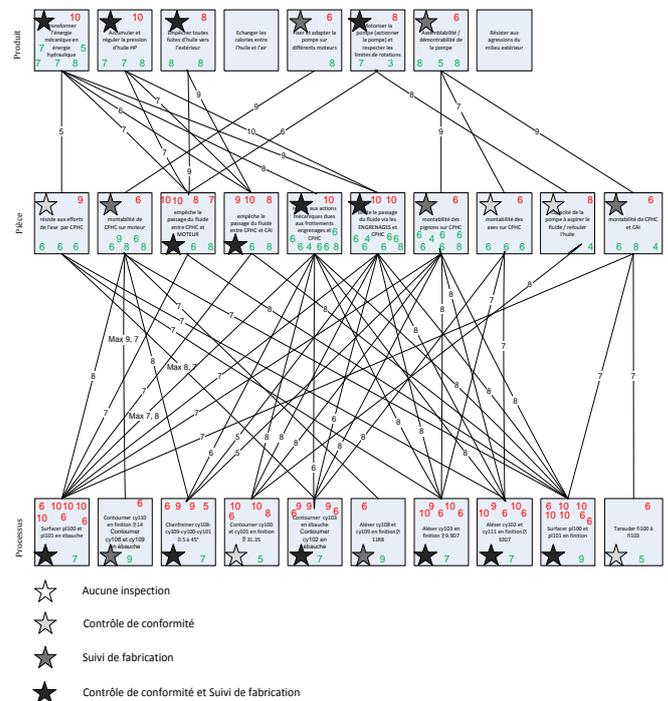


Fig 3. Exploitation des données sous forme de KC Flowdown, affectation des activités d'inspection préconisées.

Les différentes relations de causalité entre les caractéristiques sont matérialisées par des liens sur le KC Flowdown, accompagnés de la valeur de l'impact de la caractéristique de plus bas niveau sur celle de plus haut niveau.

On rappelle que quatre activités d'inspection peuvent être préconisées par la matrice de criticité : absence d'inspection, contrôle de conformité, suivi de fabrication et contrôle de conformité et suivi de fabrication. Ainsi, on fait apparaître sur le KC Flowdown, pour chaque caractéristique, l'activité d'inspection qui est préconisée. On utilise pour se faire l'échelle de correspondances expliquée sur le schéma en Fig. 3.

Grâce à ces heuristiques, il est désormais possible d'écartier les caractéristiques attachées aux facteurs de risque moins important. De plus, il est également possible d'éliminer les caractéristiques dont la satisfaction est assurée par l'inspection de caractéristiques de niveau supérieur ou inférieur.

Dans la troisième partie du projet, nous proposons une amélioration de cette méthodologie en créant notamment un outil informatique fournissant une interface de saisie des données pour l'utilisateur. De plus, l'outil devra également automatiser l'ensemble des heuristiques déployées dans l'ACDE. Enfin, l'utilisateur devra conserver une certaine liberté dans le choix du scénario des stratégies et avoir la possibilité de visualiser pas à pas l'impact de la stratégie implémentée sur l'ensemble des caractéristiques clés à contrôler. Le système d'information, sur lequel cet outil est basé, est présenté dans la section suivante.

### III. ANALYSE ET MODELISATION DE L'ACDE

Dans cette partie, nous avons recours au langage UML qui est un langage visuel constitué d'un ensemble de diagrammes, donnant chacun une vision différente du projet. Ils

interviendront notamment dans les parties d'analyse du besoin et de structuration des données pour illustrer les propos tenus.

La question du logiciel d'implémentation de l'outil a rapidement été fixée au cours de ce projet. La nécessité d'une interface intuitive a conduit notre choix vers une programmation implémentée exclusivement sous Visual Studio. De plus, le langage de programmation Vb.NET [5] a été choisi au cours de cette étude car c'est ce langage qui est communément développé au sein du laboratoire d'étude ainsi qu'au sein du centre Arts et Métiers de Metz.

### A. Analyse du besoin

Nous avons identifié le cadre et les cas d'utilisation principaux de l'outil informatique ainsi que les acteurs principaux. Fig. 4 illustre le digramme de cas d'utilisation issu de cette analyse du besoin. Il est décidé que deux acteurs seulement auront directement accès au logiciel : le responsable contrôle qualité et le concepteur chargé de concevoir le produit et le processus de fabrication.

Après l'analyse des besoins des deux acteurs, quatre cas d'utilisation semblent se distinguer dans ce programme :

- La saisie des données. En effet, l'ensemble des données issues de la conception du produit et du processus de fabrication doivent être entrées dans le programme. Une fois ce cas d'utilisation terminé, on considère que le tableau d'ACDE est entièrement rempli. Ainsi les heuristiques permettant la propagation des gravités et des difficultés de réalisation sont effectuées au sein de ce cas d'utilisation. Ces données sont alors saisies par le responsable contrôle qualité ou du moins sous sa direction mais peuvent être modifiées par le concepteur afin qu'il puisse visualiser les activités d'inspection proposées par l'outil suite à ces modifications.
- La saisie de la stratégie envisagée par l'entreprise. Le responsable contrôle qualité peut choisir de privilégier le contrôle de conformité sur le suivi de fabrication pour l'établissement du plan d'inspection par exemple. De plus, avec l'expérience, le responsable qualité peut exiger d'inspecter une caractéristique spécifique. Le programme doit permettre alors au responsable

programme doit permettre alors au responsable d'imposer une activité d'inspection aux caractéristiques souhaitées.

- La visualisation des caractéristiques clés à contrôler. En effet, le responsable contrôle qualité tout comme le plan d'inspection ainsi que la conception du produit et du processus de fabrication. La visualisation doit pouvoir être dynamique, l'utilisateur doit pouvoir choisir de visualiser les caractéristiques :

- a) sans activité d'inspection
- b) avec les activités d'inspection préconisées
- c) avec les activités d'inspection exigées après chaque stratégie du scénario des stratégies
- d) avec les activités d'inspection finales imposées par le scénario des stratégies complet

Le système affiche non seulement les caractéristiques à contrôler mais c'est également au cours de ce cas d'utilisation que les heuristiques permettant de connaître les activités d'inspection sont déployées.

- La « Gestion des tableaux », qui permet au responsable contrôle qualité d'adapter les différents tableaux de notation et de propagation ainsi que la matrice de criticité au contexte du produit étudié. On choisit de rassembler tableaux et matrice dans un cas d'utilisation unique car l'action sur chacun de ces tableaux du point de vue programmation sera identique. On note enfin que si les tableaux pourront être modifiés dans ce cas d'utilisation, ils seront néanmoins directement consultables dans le cas d'utilisation « Saisie des données » afin de rendre le jugement du responsable qualité le plus objectif possible.

On note par les liens « extends » que le cas d'utilisation « Visualisation des caractéristiques clés à contrôler » nécessite les cas d'utilisation « Saisie des données » et « Saisie de la stratégie ». En effet, pour visualiser les caractéristiques clés, il faut au préalable avoir renseignées les différentes caractéristiques dans le programme et l'utilisateur doit également avoir précisé l'orientation globale du plan d'inspection en vue d'identifier les caractéristiques clés à contrôler.

### B. Structuration des données

La Fig. 5 illustre le diagramme de classe proposé pour l'ACDE. Cinq classes sont utilisées au sein de la structure de données : la classe Produit, la classe Fonction de service, la classe Fonction Technique Élémentaire (FTE), la classe Spécification ainsi que la classe Opération (OP). Une classe supplémentaire est ajoutée aux précédentes, il s'agit de la classe Fonction qui permet de généraliser les classes fonctions de services et fonctions techniques qui sont elles-mêmes des fonctions. Les attributs communs entre les fonctions de services et les fonctions techniques élémentaires seront alors rassemblés dans les attributs de la classe fonction.

On note que les classes Produit et Fonction de service sont chacune en relation avec elle-même. Au sein de la classe Produit, ce lien permet de suggérer qu'un produit se décompose en pièces élémentaires qui sont elles-mêmes

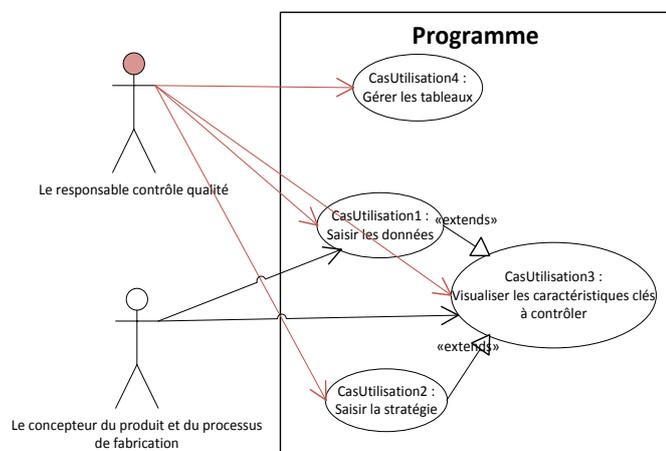


Fig 4. Diagramme de cas d'utilisation ACDE.

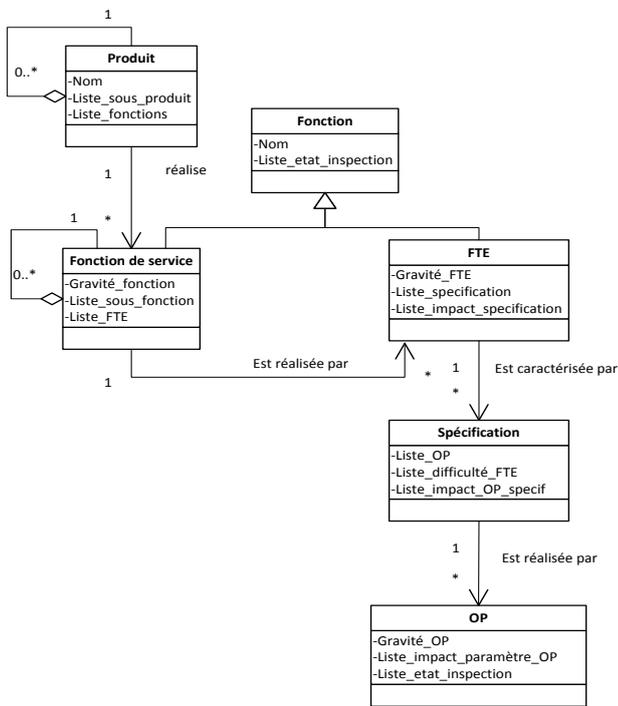


Fig 5. Diagramme de classes ACDE.

considérées comme des produits. Ainsi les objets de la classe produit peuvent représenter :

- Le produit racine, le produit en question dans l'outil, celui qui sera inspecté.
- Une pièce élémentaire, i.e. un sous-produit du produit en question dans l'étude.

La classe Produit rassemble alors les attributs du produit racine et les attributs des pièces élémentaires. Le produit racine devra posséder un accès direct à l'ensemble des pièces élémentaires qui le composent, ce qui sera permis par l'attribut *liste\_sous\_produit*, qui n'est rien d'autres que la liste de l'ensemble des pièces élémentaires qui compose le produit racine.

Au sein de la classe Fonction, le lien suggère qu'une fonction de service peut se décomposer en d'autres fonctions de service. Cette structure permet de calquer la décomposition fonctionnelle sur la décomposition du produit expliquée plus haut. Ainsi les objets instanciés par la classe fonction peuvent représenter :

- Une fonction de service fictive, nommée fonction totale qui rassemble l'ensemble des véritables fonctions de service du produit.
- Une fonction de service au sens premier du terme, c'est-à-dire une fonction que le produit doit satisfaire pour répondre aux besoins des utilisateurs du produit.

Le produit est alors décrit à l'aide de la fonction totale et les pièces élémentaires à l'aide des véritables fonctions de services. L'un dans l'autre, la classe produit doit permettre un accès à la fonction totale et un accès à l'ensemble des fonctions

de services. Nous rassemblons la fonction totale ou l'ensemble des fonctions de service au sein du même attribut de la classe produit, l'attribut *liste\_fonction*.

D'autre part, nous choisissons d'instancier deux objets de la classe fonction de service afin de représenter une unique fonction de service. Concrètement certains attributs de la fonction de service seront alors contenus dans le premier objet, et les autres dans le second. Ces deux fonctions de services peuvent être vues de la manière suivante :

- Les fonctions de services rassemblées sous la fonction totale qui se rapporte elle-même au produit racine, appelées fonctions mères.
- Les fonctions de services affectées directement aux pièces élémentaires, appelées fonctions filles.

Cette distinction a été faite dans l'unique but de faciliter l'implémentation du programme. Il nous a semblé plus simple de créer les fonctions de services se rapportant au produit dans un premier temps et dont les attributs sont fixes et dans un second temps, lors de l'affectation des fonctions de services aux pièces élémentaires, d'instancier de nouvelles fonctions du même nom représentant le même objet mais avec des attributs variables. Ainsi la gravité de la fonction ainsi que les différents critères d'inspections sont deux critères propres aux fonctions de services donc attribués aux objets fonctions mères. Cependant, la difficulté de réalisation des fonctions dépend des différentes fonctions techniques qui assurent la satisfaction de la fonction. Cet attribut sera attribué aux objets fonctions filles. Trois types d'objets fonctions de services différents sont rassemblés au sein de la classe fonction de service : la fonction totale, la fonction mère et la fonction fille.

La structure globale est proposée, il reste à rechercher les attributs nécessaires au fonctionnement de l'outil. On utilise pour cela les données issues de l'ACDE afin de les identifier. Ensuite, nous les affectons aux différentes classes en anticipant les besoins de la programmation.

### C. Conception de l'interface

Lors de la description des scénarios des cas d'utilisation, nous avons déjà atteint un niveau de détail qui laissait apparaître la structure de l'interface. L'interface se composera :

- D'une barre de menu classique comportant les fonctions « Nouveau projet », « Enregistrer projet » et « Ouvrir projet » dans la partie supérieure de la fenêtre.
- De quatre onglets permettant à l'utilisateur d'effectuer les quatre fonctionnalités principales de l'outil. Ces onglets se situeront sous la barre de menu : « Création du produit », « Stratégie », « Visualisation des résultats » et « Gestion des tableaux ».
- Chaque onglet possède ensuite sa propre interface permettant à l'utilisateur d'agir sur le programme.

On choisit d'afficher la décomposition du produit en pièces élémentaires sous la forme d'un arbre ce qui permet de vérifier que toutes les pièces ont bien été affectées. De plus, par clic droit, nous offrons à l'utilisateur la possibilité de changer de pièce au sein du même onglet.

Comme vu précédemment, chaque pièce ne possédera pas la même décomposition fonctionnelle car les fonctions de services ne sont pas satisfaites grâce aux mêmes pièces et la manière dont ces fonctions de services sont réalisées dépendent de la pièce en question. Rappeler la structure permettra également de valider au fur à mesure que les données ont été correctement saisies.

Afin de mieux décrire l'outil informatique développé et son interface, le paragraphe suivant décrit le processus déployé par l'outil sur un exemple industriel : une pompe hydraulique.

#### IV. MISE EN OEUVRE DE L'OUTIL CREE SUR L'EXEMPLE DE LA POMPE HYDRAULIQUE

Le produit choisi comme exemple d'étude est une pompe hydraulique. Nous avons porté ce choix sur cet exemple en raison de la disponibilité des éléments relatifs à sa conception. L'objectif est de dresser le bilan des opérations fonctionnelles réalisées par l'outil et de dégager des pistes d'amélioration possibles. Suite à la complexité de ce système, nous choisissons de restreindre l'étude à une pièce élémentaire située sur le corps de la pompe hydraulique. La pièce élémentaire à laquelle nous allons nous intéresser exclusivement dans est le couvercle d'arbre intermédiaire (C.A.I) dont les entités sont illustrées dans la Fig. 6.

Plus particulièrement, nous allons focaliser l'étude sur une fonction à laquelle la pompe hydraulique doit satisfaire : « Transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique » qui nous semblent être la fonction principale que la pompe doit assurer afin de générer la circulation d'huile dans le moteur.

Dans TABLE I, nous résumons certaines données du CAI dont le responsable contrôle qualité a besoin afin d'utiliser l'outil conçu. Ces données sont issues de la conception du produit et du processus de fabrication (bureau d'études et bureau des méthodes).

Ces données pourraient être saisies ainsi dans l'outil. Nous rappelons les quatre fonctionnalités essentielles que l'outil doit réaliser :

- La saisie des données caractérisant le produit.
- La saisie de la stratégie, décidée par le responsable contrôle qualité.
- La visualisation des caractéristiques clés à contrôler.
- La gestion des tableaux permettant d'adapter l'inspection au contexte du produit.

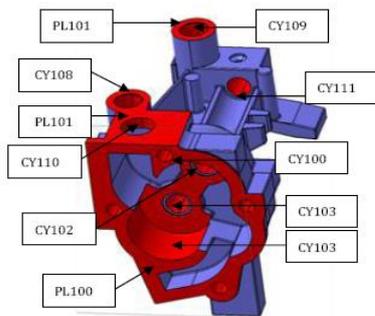


Fig 6. Définition des entités à usiner sur le corps de pompe [1].

#### A. Saisie des données

La Fig. 7 montre les onglets de l'interface principale de l'outil informatique développé. Les quatre premiers onglets permettent de saisir l'ensemble des données que l'utilisateur avait en sa possession ou qu'il pouvait déterminer rapidement au moyen des différents tableaux.

A ce stade, les données suivantes ne sont pourtant pas encore saisies :

- La difficulté de réalisation des fonctions.
- Les gravités et difficultés de réalisation des FTEs.
- La gravité des opérations.

Ces données peuvent être calculées notamment par le biais des tableaux de propagation, comme expliqué en partie II. Par exemple en utilisant la gravité de la fonction et l'impact de la FTE en question sur cette fonction, il est possible de déterminer la gravité de cette FTE. Ces calculs étant fastidieux pour l'utilisateur, nous souhaitons les automatisés.

Ainsi, d'après le cas d'utilisation 1, nous souhaitons à la fin de la saisie des données, lancer la propagation des données automatiquement afin de connaître l'ensemble des données en fin de cas. A la fin de l'onglet « Impact OP/FTE », l'ensemble des données auraient dû être résumé et l'utilisateur en validant ces données par un bouton « Validation des données » auraient lancé le processus de propagation des données. Cependant cette

TABLE I. DONNEES SELECTIONNEES CARACTERISANT LA PIECE C.A.I.

| Fonction devant être satisfaite par la pompe hydraulique | Fonction techniques élémentaires devant être réalisée par le CAI | Spécifications fonctionnelles                                    | Opération de fabrication               | Fonction devant être satisfaite par la pompe hydraulique | Fonction techniques élémentaires devant être réalisée par le CAI | Spécifications fonctionnelles                               | Opération de fabrication              |
|--|--|--|--|--|--|---|---------------------------------------|
| Transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique   | Empêche le passage du fluide entre le CPH et la crépine          | Rugosité PL100 et PL101 (en contact avec la crépine)             | Surfacer P1100 et P1101 en ébauche     | Accumuler et réguler la pression d'huile                 | Empêche le passage du fluide entre le CPH et la crépine          | Rugosité PL100 et PL101 de CPH (en contact avec la crépine) | Surfacer P1100 et P1101 en ébauche    |
|  | Empêche le passage du fluide entre CPH et moteur                 | Rugosité PL100 et PL101 de CPH (en contact avec le moteur)       | Surfacer P1100 et P1101 en ébauche     |  | Empêche le passage du fluide entre CPH et moteur                 | Rugosité PL100 et PL101 de CPH (en contact avec le moteur)  | Surfacer P1100 et P1101 en ébauche    |
|  | Résiste aux actions mécaniques dues au frottement engrenages.CPH | Co-axialité de cy100 et cy101, cy102, cy103 de CPH               | Aléser cy102 et cy111 en finition      |  | Limite le passage du fluide via les engrenages et CPH            | Diamètre cy100 et cy101                                     | Contourner cy100 et cy101 en finition |
|  | Limite le passage du fluide via les engrenages et CPH            | Perpendicularité de p112 et p1100 par rapport aux cy102 et cy103 | Surfacer P1100 et P1101 en en finition |  | Perpendicularité de p112 et p1100 par rapport aux cy102 et cy103 | Aléser cy102 et cy111 en finition                           | Contourner cy100 et cy101 en finition |

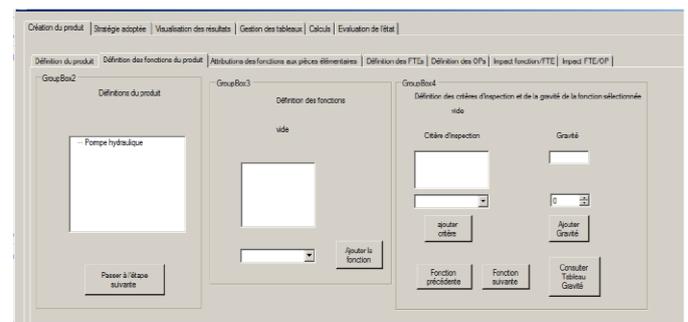


Fig 7. Capture d'écran de l'interface (CEI), vue globale de l'onglet 2.

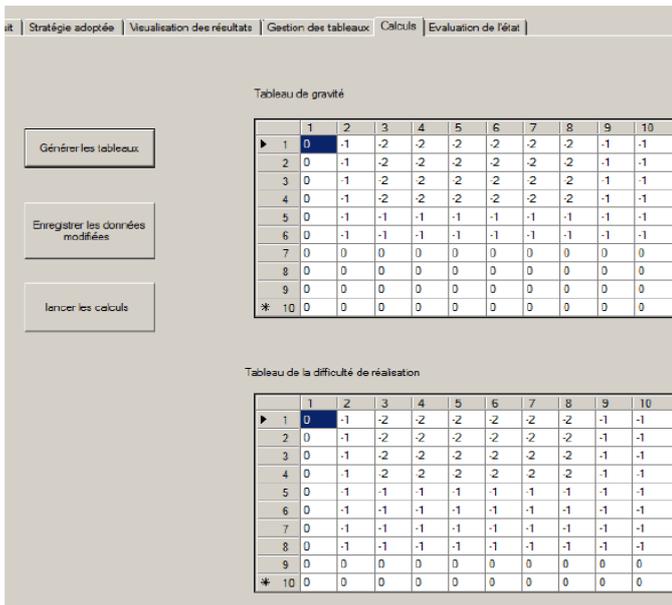


Fig 8. CEI, onglet temporaire « Calculs », visualisation des tableaux de propagation des gravités et des difficultés de réalisation.

partie n'ayant pas été jugée prioritaire, nous avons préféré créer une interface provisoire nous permettant de lancer « manuellement » les calculs. L'utilisateur peut alors afficher l'onglet « Calculs » (Fig. 8) et générer les tableaux évoqués précédemment. L'utilisateur peut par ailleurs les modifier à cet endroit, bien qu'une fois l'outil achevé, cette fonctionnalité ne sera permise que dans l'onglet « Gestion des tableaux ». Enfin, il peut lancer les calculs (de propagation) par l'intermédiaire du bouton du même nom.

### B. Saisie de la stratégie

Avant d'implémenter l'ensemble des stratégies possibles, nous avons souhaité implémenter un scénario constitué de trois stratégies. Nous réutilisons ainsi le scénario des stratégies développés dans la partie II. La stratégie 0 propose que l'affectation des activités d'inspection aux caractéristiques dont le contrôle de conformité et le suivi de fabrication sont exigés, soit priorisée. Dans stratégie 1, pour les notes de gravités, la décotation se fait de manière descendante et pour la difficulté de réalisation de manière ascendante. La stratégie 3 priorise l'affectation du contrôle de conformité au niveau du produit.

Bien qu'une première version de l'interface ait été dessinée, l'utilisateur ne peut pas encore intervenir au sein de cette fonctionnalité. Le système implémentera toujours le scénario {stratégie 0, stratégie 1, stratégie 3} sur n'importe quel système soumis à cet outil. On note cependant que l'ensemble des fonctions permettant la décotation montante et descente sont opérationnelles. On note sur le design de l'interface en Fig. 9 que nous avons laissé les deux possibilités de stratégie à l'utilisateur qui étaient énoncées dans le cahier des charges :

- Choisir un scénario préétabli permettant au final de privilégier les contrôles de conformité ou les suivis de fabrication. L'utilisateur cochera une des deux cases.

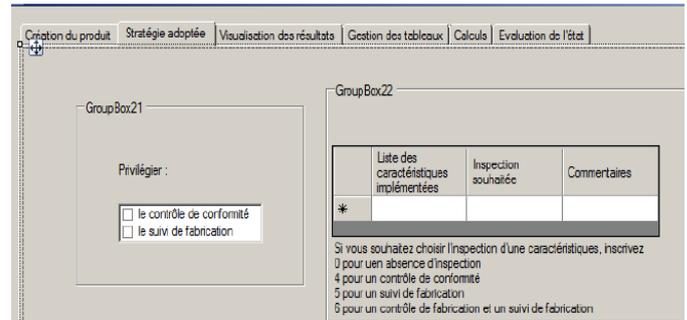


Fig 9. CEI, onglet stratégie.

- Exiger une activité d'inspection sur une caractéristique. Un tableau récapitulant l'ensemble des caractéristiques saisies s'affichera automatiquement, l'utilisateur au moyen de l'échelle de correspondance, pourra ainsi exiger une activité d'inspection particulière.

## V. CONCLUSION

Au sein de ce projet, nous avons tout d'abord assimilé la méthodologie ACDE, point de départ de l'outil informatique que nous souhaitons créer. Nous avons ensuite rédigé le cahier des charges de cet outil permettant de mieux cibler les attentes de ses utilisateurs, de définir sa structure de données et de concevoir l'agencement de l'interface. Enfin, nous avons souhaité illustrer le bon fonctionnement de l'outil informatique au moyen d'un exemple.

Au cours de ce projet, nous avons développé nos connaissances sur la mise en œuvre des plans d'inspection au sein des entreprises, connaissances. De plus, nous avons également créé un outil informatique que ce soit du point de vue de la conception (rédaction d'un cahier des charges, réflexions autour de l'interface) que du point de vue de la réalisation (programmation).

Bien que l'outil dispose aujourd'hui de plusieurs fonctionnalités essentielles, certains points restent à finaliser afin qu'il soit utilisé dans un contexte industriel. Nous espérons fortement qu'une tierce personne puisse reprendre ce travail et achever le développement de l'outil. L'utilisation de cet outil pourrait également être élargie aux produits complexes ne pouvant pas directement se décomposer en pièces élémentaires, ce qui pourrait être l'objet d'un second projet.

## REFERENCES

- [1] S. Mirdamadi, "Système d'aide à la décision pour la génération des processus d'inspection par la fédération des expertises métier," Thèse de doctorat de l'ENSAM de Metz, Laboratoire LCFC, 2014.
- [2] P. Muller, Modélisation Objet avec UML. Eyrolles, 1998.
- [3] H. Garin, AMDEC/MADE/AEEL : L'essentiel de la méthode. Collection A SAVOIR, 1994.
- [4] A.C. Thornton, Variation Risk Management. John Wiley and Sons Editions, Hoboken, New Jersey, 2004.
- [5] T. Groussard, Visual Basic 2012 (VB.NET), les fondamentaux du langage. eni, 2013.