

# *Création d'un cahier générique des variations cosmétiques*

BOUKHRIS Ibtissam

Master 2 : Qualité et Performance dans les Organisations

UTC 2015-2016

Mémoire d'Intelligence Méthodologique



Lien vers le document web :

UTC Master QPO 2015-2016 [www.utc.fr/master-qualite](http://www.utc.fr/master-qualite), puis «Travaux», « Qualité-Management », réf n°347.

## *Remerciements*

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce mémoire d'intelligence méthodologique par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce projet, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Par le présent document, je tiens à remercier tout particulièrement mon tuteur de stage, pour m'avoir fait partager son savoir, pris en charge, confié des tâches, conseillé, encouragé et accordé sa confiance.

Je remercie également les responsables du pôle Qualité Programmes pour m'avoir proposé ce stage et m'avoir permis de mener ce projet.

Je tiens à exprimer aussi ma reconnaissance à l'ensemble du personnel du groupe pour sa disponibilité à répondre à toutes mes questions et pour les conseils qu'ils ont pu me prodiguer au cours de cette expérience.

Je remercie également mon suiveur de stage M. **Pol-Manoel FELAN** pour le suivi et l'encadrement du stage.

J'espère enfin que le présent rapport soit à la hauteur des attentes de mon encadrant et qu'il reflétera le bon déroulement du projet.

*Merci*

## *Résumé*

Dans un environnement de plus en plus exigeant et de plus en plus concurrentiel, la qualité fonctionnelle des produits fabriqués n'est plus le facteur unique pour assurer la pérennité et la survie des organisations. Au-delà de l'aspect technique et fonctionnel qu'un produit doit remplir, la qualité perçue du produit est un point primordial dans le processus de réception et d'acceptation de ce dernier. Elle est devenue un facteur clé dans le choix d'achat, dans l'amélioration de la satisfaction et de la fidélisation de la clientèle.

La qualité perçue est une notion très large, elle est fondée sur la perception personnelle du client à partir de ses propres besoins et attentes. Elle est l'expression de son degré de satisfaction, avec tout ce que cela comporte de subjectivité, relativité et abstraction.

En outre, l'importance de la qualité perçue est de plus en plus reconnue dans tous les secteurs d'activité. Dans le domaine aéronautique, le cosmétique soulève un nombre assez important de questions de la part des clients. Pour cela, anticiper et prendre en compte les attentes et les besoins des clients au niveau de la qualité perçue, s'avère le moyen le plus adéquat pour réduire l'écart entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu.

L'objectif de ce projet est donc de créer un document contractuel entre le fournisseur et le client. Ceci vise particulièrement à standardiser la méthode de contrôle qualité entre ces deux parties prenantes, les aligner sur le cosmétique des pièces fabriquées et faciliter la communication entre eux.

**Mots clés:** Qualité Perçue, Cosmétique, Aéronautique.

## *Abstract*

In a very demanding and competitive environment, the functional quality of manufactured products is not the only factor to ensure the sustainability and survival of organizations. Beyond the technical and functional aspects that a product must fulfill, the perceived product quality is a key point in the process of reception and acceptance of the latter. It has become a key factor in the purchasing choices and the improvement of customer satisfaction and loyalty.

Perceived quality is a very large concept, it is based on personal perception of the client from his own needs and expectations. It is the expression of their satisfaction with complete subjectivity, relativity and abstraction.

Furthermore, the importance of perceived quality is increasingly recognized in all business sectors. In aeronautics, cosmetics raise quite a number of questions from customers. For this reason, anticipating and taking into account the expectations and needs of customers in terms of perceived quality is the most appropriate way to reduce the gap between what is expected and what is obtained.

So the goal of this project is to create a contractual document between the supplier and the customer. This particularly aims to standardize the quality control method between these two stakeholders, align them on cosmetics of the manufactured parts and facilitate communication between them.

**Keywords:** Perceived Quality, Cosmetics, Aeronautics.

## *Sommaire*

<b>Liste des figures et des tableaux.....</b>	<b>5</b>
<b>Abréviations et acronymes .....</b>	<b>6</b>
<b>Glossaire et définitions .....</b>	<b>6</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>Chapitre 1 : Pourquoi un cahier cosmétique ? .....</b>	<b>8</b>
<b>I. Contexte et origine de la mission.....</b>	<b>8</b>
<b>II. Présentation de la nacelle .....</b>	<b>10</b>
<b>III. Enjeux et Problématique .....</b>	<b>12</b>
1. Enjeux du projet .....	12
2. Problématique.....	13
2.1 Définition de la problématique .....	13
2.2 Stratégie d'élaboration du cahier cosmétique.....	14
2.3 Objectifs du projet .....	14
<b>Chapitre 2 : Méthode d'élaboration du cahier cosmétique.....</b>	<b>16</b>
<b>I. Choix de la méthode de résolution .....</b>	<b>16</b>
1. Etude comparative des solutions possibles.....	16
2. Justification de l'alternative choisie .....	17
<b>II. Mise en place de la méthode.....</b>	<b>18</b>
1. Etat de l'art (Study) .....	19
2. Identifier les variations cosmétiques (Identify) .....	20
2.1 Qu'est-ce qu'un matériau composite ?.....	21
2.2 Différentes architectures des matériaux composites .....	21
2.3 Les procédés de fabrication .....	22
3. Planification des actions à mettre en œuvre (Plan) .....	23
4. Réaliser ce qui a été prévu (Do) .....	24
5. Evaluer les résultats et intégrer les améliorations (Check) .....	25
<b>III. Résultats escomptés.....</b>	<b>27</b>
<b>Chapitre 3 : Résultats et Perspectives.....</b>	<b>28</b>
<b>I. Résultats obtenus.....</b>	<b>28</b>
<b>II. Perspectives .....</b>	<b>31</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>32</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>34</b>

## *Liste des figures et des tableaux*

Figure 1 : Les différentes approches de la qualité [4] .....	8
Figure 2 : Les constituants de la nacelle [5] .....	10
Figure 3 : Le mode de fonctionnement de l'inverseur de poussée [10] .....	11
Figure 4 : Le système d'éjection du turboréacteur [11] .....	12
Figure 5 : Intérêt de la création d'un cahier cosmétique générique [Source : auteur] .....	13
Figure 6 : La PDS du projet [Source : Auteur] .....	15
Figure 7 : Critères de succès du cahier cosmétique [Source : auteur] .....	17
Figure 8 : Cycle SIPDC appliqué au projet [Source : auteur] .....	18
Figure 9 : Situation actuelle du groupe [Source : auteur] .....	19
Figure 10 : Les matériaux composites dans l'industrie aéronautique [12] .....	20
Figure 11 : Structure du composite monolithique [15] .....	21
Figure 12 : Ame type nid d'abeilles [16] .....	22
Figure 13 : Structure sandwich du composite [17] .....	22
Figure 14 : Processus de fabrication des pièces composites monolithiques [Source : auteur] .....	22
Figure 15 : Analyse SWOT lié au livrable [Source : auteur] .....	23
Figure 16 : Processus de rédaction et d'amélioration du cahier cosmétique [Source : auteur] .....	26
Figure 17 : Représentation du traitement des variations cosmétiques [Source : auteur] .....	30
Figure 18 : Perspectives du projet [Source : auteur] .....	31
Figure 19 : Représentation de l'autoévaluation des compétences projet [Source : auteur] .....	32
Tableau 1 : Etude comparative des solutions proposées [Source : auteur] .....	16
Tableau 2 : Explication du cycle SIPDC [Source : auteur] .....	18

## *Abréviations et acronymes*

PDS : Planification Dynamique Stratégique.

PDCA : Plan - Do – Check – Act.

SIPDC : Study - Identify – Plan – Do – Check.

S.M.A.R.T : Spécifique, Mesurable, Acceptable, Réaliste, Temporel.

UTC : Université de Technologie de Compiègne.

## *Glossaire et définitions*

**Cosmétique du produit** : Aspect visuel du produit fabriqué.

**Compactage** : Opération consistant à réduire le volume apparent d'un matériau au cours de sa mise en forme.

**Défaut** : Imperfection à l'échelle microscopique ou macroscopique se traduisant généralement par une modification de certaines caractéristiques du produit.

**Dérogation** : Le processus de traitement d'une non-conformité.

**Marouflage** : Il sert à mettre en œuvre les différents produits d'environnement. Cette opération permet une bonne répartition du vide sur toute la surface de la pièce, un pompage de l'excédent de résine et une évacuation des volatiles pour ne pas avoir de porosité dans la pièce.

**Plis pré-imprégnés** : Des fibres imprégnées au préalable de résine.

**Polymérisation** : Réaction chimique conduisant à la formation d'un composé macromoléculaire (polymère) par enchaînement de motifs élémentaires (monomères).

**Qualité perçue** : Désigne généralement la qualité perçue par le consommateur avant l'achat ou l'utilisation du produit ou service d'une manière plus ou moins subjective [1].

**Récupération** : Sanction possible du traitement de non-conformité. Elle vise à restaurer tout ou une partie des propriétés du produit.

**Variation cosmétique** : Variation d'aspect ou d'apparence des pièces fabriquées. Elle est décelable à l'œil et peut être la résultante visuelle d'un défaut technique **traité**. Cette variation n'a aucun impact technique sur les caractéristiques et les performances du matériel.

## *Introduction*

Après avoir obtenu un diplôme d'ingénieur mécanique avec option qualité maintenance, j'ai choisi d'intégrer le master Qualité et Performance dans les Organisations dispensé par l'UTC. Ce choix est motivé par une grande volonté d'approfondir et d'acquérir de nouvelles compétences dans le domaine de la qualité. Une branche vers laquelle je souhaite orienter ma carrière professionnelle.

Fortement intéressée par une expérience dans le secteur aéronautique, j'ai effectué mon projet de fin d'études au sein du département Qualité Programmes chez l'un des leaders mondiaux dans la conception, fabrication et l'intégration des nacelles. La mission de ce département consiste à garantir la qualité et la conformité des produits et des prestations associées livrés aux clients. Ses membres sont amenés d'une part, à rendre la voix du client omniprésente, comprise partout dans l'entreprise et d'autre part, à définir et mettre en œuvre les plans de progrès qui permettent d'améliorer la performance qualité.

Grâce à ce projet, j'ai eu l'occasion de travailler sur un autre aspect de la qualité qui est la qualité perçue. Cet aspect particulier de la qualité se focalise sur la perception du client final. C'est une notion large et subjective [1]. Pour cela, il paraît judicieux de rationaliser cette subjectivité en s'appuyant sur une démarche formalisée et agréée entre le fournisseur et le client.

La satisfaction client n'est donc pas uniquement conditionnée aux fonctionnalités techniques d'un produit. Le client s'attend également à être séduit par l'aspect attendu du produit. Dans ce sens, le projet qui m'a été confié porte sur les variations cosmétiques des produits fabriqués. Il vise à établir une méthode standard d'analyse de ces variations et à définir leurs critères d'acceptabilité. Le but est d'accompagner le client dans sa démarche de contrôle qualité, augmenter sa satisfaction et réduire le nombre de réclamations liées aux aspects visuels.

Le présent mémoire d'intelligence méthodologique (MIM) traite la phase du lancement du projet qui porte sur la description du contexte, la définition de la problématique et la formalisation des objectifs à atteindre. Il développe également la méthodologie adoptée tout au long du projet et présente les résultats obtenus.



## Chapitre 1 : Pourquoi un cahier cosmétique ?

### I. Contexte et origine de la mission

La qualité selon l'ISO 9000 est l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques à satisfaire les attentes et les besoins explicites et/ou implicites de la clientèle. Elle ne se résume pas dans la fonctionnalité et les performances prévues du produit, mais elle inclut également la valeur et le bénéfice perçus par le client [2].

Dans ce sens, le lien entre les exigences exprimées par le client et sa satisfaction comporte une part de subjectivité. Ceci est dû d'une part, aux différentes approches qualité d'un point de vue client et fournisseur et d'autre part, aux exigences implicites du client.

Quatre approches peuvent être distinguées [3]:

- La qualité voulue : caractéristique que l'entreprise souhaite atteindre. Elle est formulée sous formes de critères et exigences en respectant les normes et les procédures en question afin de fabriquer des produits conforme aux spécifications.
- La qualité attendue par le client se construit autour de ses besoins mais aussi de son expérience antérieure du produit.
- La qualité perçue : la perception propre du client vis-à-vis du produit acheté ou du service fourni. Elle dépend à la fois de la qualité attendue et celle obtenue.
- La qualité obtenue : c'est la qualité réellement reçue par le client.

La figure ci-dessous résume ces 4 approches qualité.

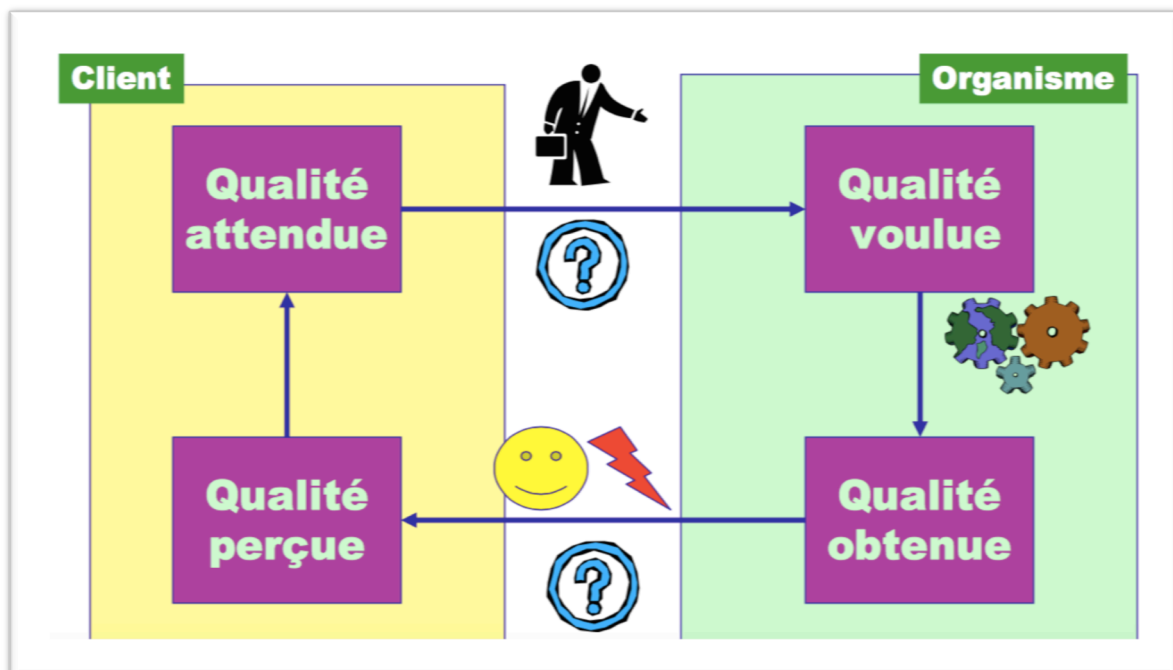


Figure 1 : Les différentes approches de la qualité [4]

Entre ses 4 approches, il existe différents écarts [3]:

- Ecart de conception : différence entre la qualité attendue et la qualité voulue.
- Ecart de perception : différence entre la qualité perçue et la qualité obtenue.
- Ecart de satisfaction : différence entre la qualité perçue et la qualité attendue.
- Ecart de délivrance : différence entre la qualité obtenue et la qualité voulue.

La démarche qualité vise à réduire ces écarts afin d'améliorer la satisfaction client.

De ce fait, au-delà des aspects techniques et fonctionnels qu'un produit doit remplir, les entreprises donnent une grande importance à la qualité esthétique de leurs produits. C'est un facteur primordial contribuant à la satisfaction des clients et donc à leur fidélisation.

Dans ce contexte, le projet a pour vocation d'une part, à capitaliser le maximum des variations cosmétiques générées par les procédés standards de fabrication des nacelles, et qui peuvent être acceptées par les clients; Et d'autre part, à standardiser la méthode d'analyse de ces variations entre le groupe et ses clients. Ceci vise à aligner ces deux parties prenantes sur la qualité perçue du produit et par conséquent, contribuer à réduire les écarts de perception et de satisfaction.

Ce projet porte ainsi sur la création d'un cahier cosmétique générique, c'est-à-dire d'un document utilisable en interne du groupe, par le personnel chargé du contrôle qualité, et en externe, par les clients du groupe, quel que soit le type de la nacelle ou de l'inverseur commandé. Il sera applicable aux programmes de fabrication et d'assemblage des inverseurs et plus généralement des nacelles sur les sites du groupe.

### *Mais qu'est-ce qu'un cahier cosmétique ?*

Un cahier cosmétique est un document qui définit les variations cosmétiques notables mais inhérentes aux procédés de fabrication ou après réparation des éléments constituant la nacelle. Ces variations n'étant pas considérées comme défauts, n'ont aucun impact technique (Structural, fonctionnel, aérodynamique...) sur les caractéristiques et les performances des matériels. Elles portent uniquement sur l'aspect visuel du produit.

## II. Présentation de la nacelle

Afin d'éclaircir le contexte dans lequel s'inscrit la mission de ce projet, il s'avère nécessaire de présenter quelques notions fondamentales des principaux éléments constituant une nacelle.

La nacelle est l'ensemble d'éléments accueillant et intégrant le moteur dans la structure de l'avion. Elle est constituée d'une manche d'entrée d'air, de capots moteur, d'un inverseur de poussée, d'un système d'éjection et des suspensions moteur. La figure 2 illustre ces différents constituants [5].

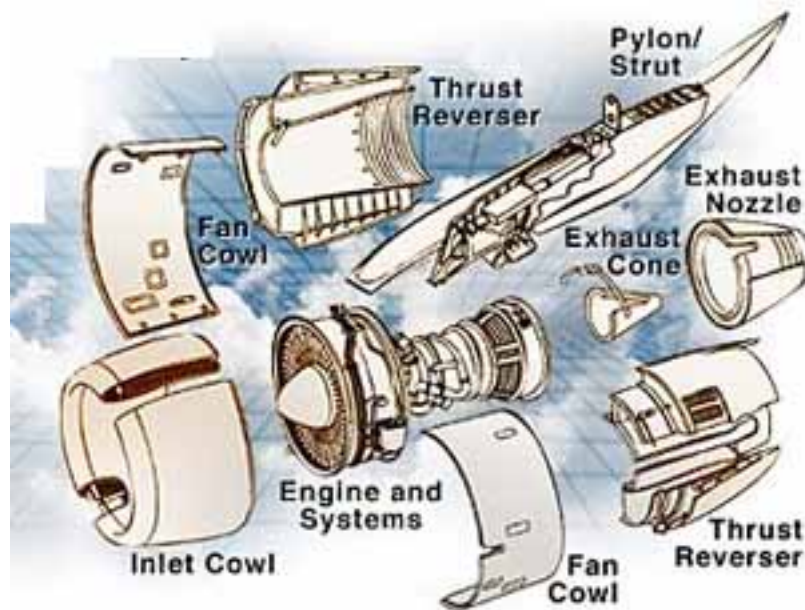


Figure 2 : Les constituants de la nacelle [5]

### a. L'entrée d'air (Inlet Cowl)

Son rôle est d'assurer un écoulement aérodynamique subsonique à l'entrée du moteur. Elle permet aussi d'éliminer la glace susceptible de se former en vol sur la lèvre d'entrée d'air grâce à un système d'écoulement de l'air chaud provenant du compresseur du moteur [6].

### b. Capot moteur (Fan Cowl)

Le capot moteur est le 2ème élément constituant la nacelle. Il permet de caréner le turboréacteur tout en garantissant un écoulement d'air autour de celui-ci. Ce flux d'air ne doit pas être obstrué, de sorte que les accessoires du turboréacteur soient refroidis et ventilés.

Il est généralement fabriqué à partir de matériaux composites avec un certain nombre de panneaux d'accès pour l'entretien [7].

### c. Inverseur de poussée (*Thrust reverser*)

L'inverseur de poussée représente 66% de la masse totale de la nacelle et 62% de son prix de vente, ainsi ce dernier est le plus important sous élément de la nacelle en masse et en coût [8]. Bien qu'il existe plusieurs types d'inverseurs de poussée (Inverseur target, à grilles, à 2 portes et à 4 portes), ils obéissent tous au même principe de fonctionnement : des obstacles mobiles (portes ou volets) viennent bloquer le flux primaire et/ ou secondaire du moteur et le dirigent vers l'avant de la nacelle. Ils génèrent ainsi une contre poussée qui contribue au freinage de l'avion lors de l'atterrissage [6].

En phase de vol, l'inverseur permet de canaliser le flux externe tout en permettant d'accéder au moteur afin de refroidir les pièces sollicitées thermiquement. Il joue aussi un rôle primordial dans l'atténuation acoustique du bruit moteur vis-à-vis du sol et de la cabine [9]. La figure ci-dessous explique le mode de fonctionnement de l'inverseur en phase de vol et d'atterrissage [10].

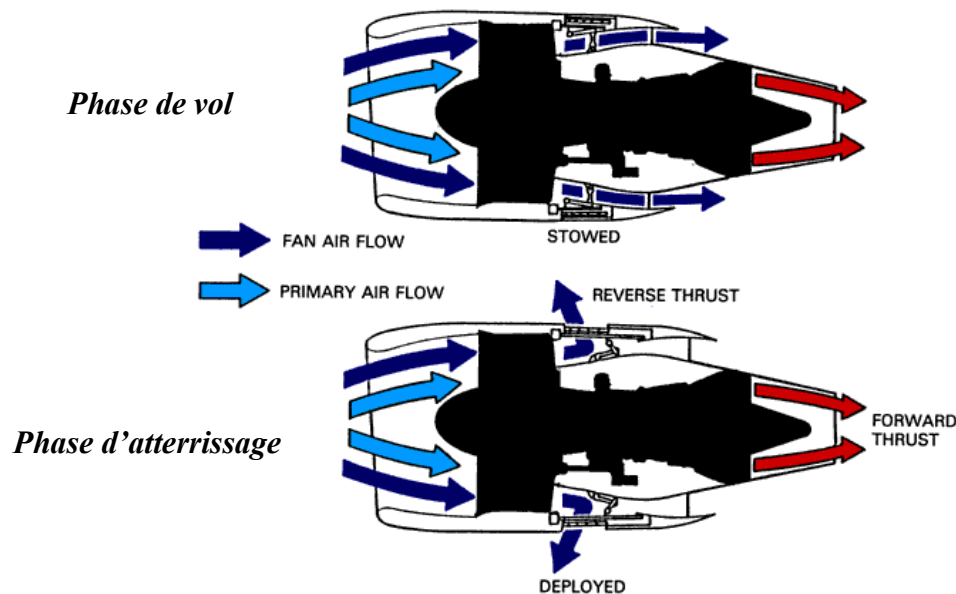


Figure 3 : Le mode de fonctionnement de l'inverseur de poussée [10]

### d. Système d'éjection

Il comporte une tuyère d'éjection primaire et secondaire. Son rôle consiste à évacuer les flux chaud et froid, optimiser la poussée de l'ensemble propulsif en lui communiquant le maximum de vitesse, atténuer les bruits de turbine et de combustion [8].

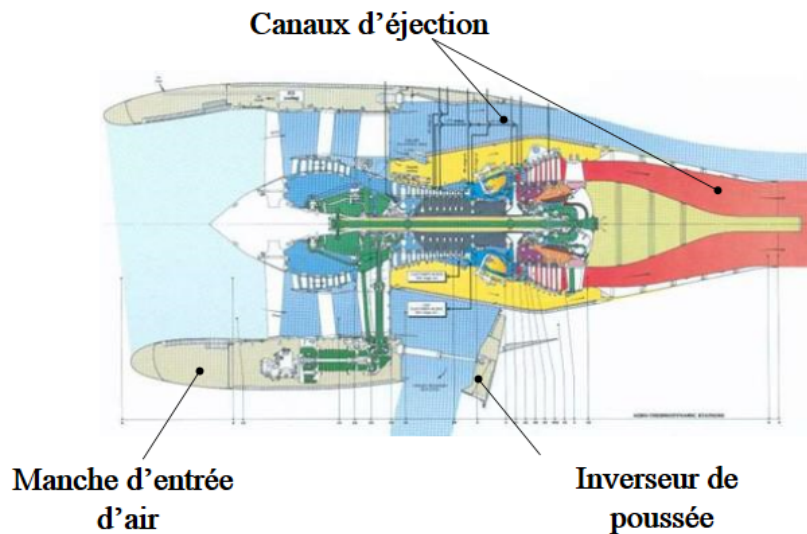


Figure 4 : Le système d'éjection du turboréacteur [11]

### *e. Suspensions moteur*

Elles relient le moteur au mat avion, reprennent la poussée moteur, supportent les efforts de manœuvre et les balourds accidentels [8].

## **III. Enjeux et Problématique**

### **1. Enjeux du projet**

Le groupe fabrique plusieurs types de nacelles avec des procédés de fabrication plus ou moins différenciables. Cependant les variations cosmétiques générées par un procédé de fabrication sont en général les mêmes. Ainsi, créer un cahier cosmétique par type de produit n'est pas justifié et représente beaucoup de temps.

L'enjeu du cahier cosmétique générique est de capitaliser toutes les variations cosmétiques susceptibles d'apparaître tout au long de la chaîne de production. En outre, ceci vise également à harmoniser la méthode d'analyse des variations cosmétiques en définissant des critères, pour statuer sur leur acceptabilité quel que soit le type de la nacelle fabriquée.

Cependant, si un client a des exigences plus restrictives, il est toujours possible d'adapter le cahier cosmétique à ses besoins.

L'intérêt de créer un cahier cosmétique générique peut être ainsi réparti en 3 grands axes :

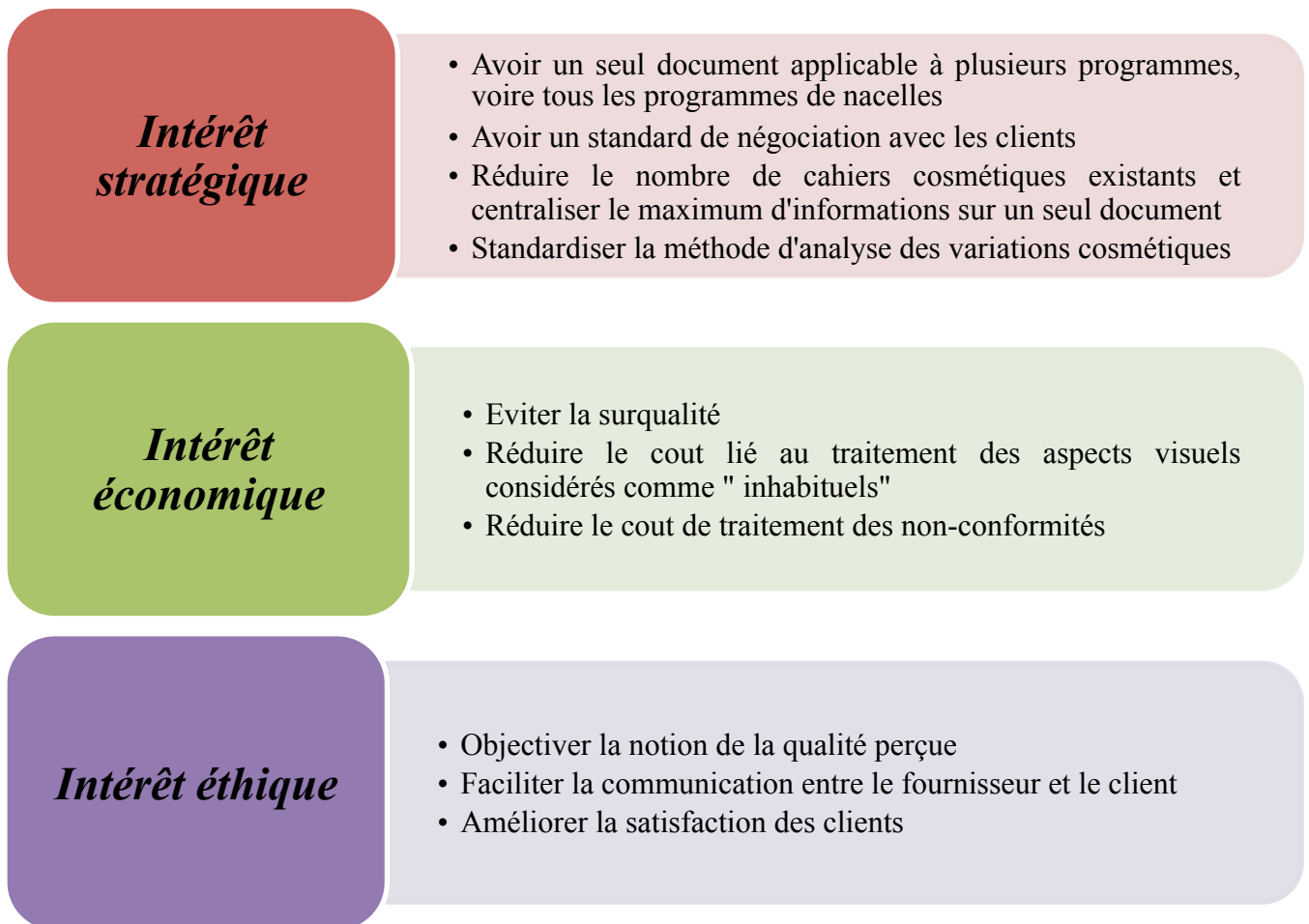


Figure 5 : Intérêt de la création d'un cahier cosmétique générique [Source : auteur]

## 2. Problématique

### 2.1 Définition de la problématique

L'aspect visuel du produit joue un rôle fondamental dans la perception de sa qualité par le client. Au-delà des exigences techniques et fonctionnelles demandées, l'aspect esthétique du produit acheté reste un facteur primordial dans le processus de réception, d'acceptation, de réparation ou de refus de ce dernier.

Cependant, une variation d'aspect peut être générée même avec les procédés de fabrication les plus maîtrisés. Ceci suscite un nombre assez important de questions de la part du client. Ces variations cosmétiques, sont inhérentes aux procédés de fabrication ou de réparation, doivent donc être déclarées aux clients afin de réduire ces réclamations, et surtout afin d'éviter les perturbations d'activité qu'elles génèrent.

De ce fait, accompagner le client et le fournisseur lors des contrôles qualité nécessite la création d'un document contractuel entre ces deux parties prenantes qui, d'une part assurera la compréhension de la variation, son origine et ses critères d'acceptation et d'autre part, permettra d'établir un diagnostic rapide puis de préciser le processus à suivre afin de prononcer le niveau de décision et la traçabilité nécessaire.

## *2.2 Stratégie d'élaboration du cahier cosmétique*

Le document réalisé doit intégrer les différentes variations cosmétiques rencontrées lors de la fabrication ou après réparation. En premier lieu, il s'agit d'illustrer dans chaque cas, la variation cosmétique, décrire sa nature, sa localisation sur la nacelle et son origine. Le but est d'en faciliter l'identification par les contrôleurs.

En outre, les contrôleurs auront besoin d'évaluer le niveau de conformité de la variation par rapport à ce qui a été défini dans le cahier cosmétique. Dans ce cas, déterminer les critères d'acceptation et de traçabilité s'avère le moyen le plus adéquat pour leur permettre de prendre la décision.

## *2.3 Objectifs du projet*

Le travail effectué a pour vocation d'accompagner le client et le fournisseur dans leur contrôle qualité lié aux variations cosmétiques des produits fabriqués. Ceci passe par la diffusion d'un cahier cosmétique utilisable et compréhensible, leur facilitant la démarche du contrôle, et leur précisant le niveau de décision et de traçabilité nécessaire.

Le premier objectif du projet est de créer un cahier cosmétique applicable en premier lieu aux inverseurs type « Global 5000 ». Ensuite, élargir l'étude faite sur ce dernier pour élaborer un référentiel générique capitalisant le maximum de variations cosmétiques existantes. Le document créé doit être suffisamment bien construit et flexible pour être applicable en l'état, s'il couvre les exigences du client, ou amendé si le client a des exigences plus restrictives.

L'objectif final est donc de proposer un cahier cosmétique adapté au contexte et aux pratiques actuelles du groupe, avec une forte valeur ajoutée pour être applicable et généralisable.

Une planification dynamique stratégique a été mise en place pour avoir une vision globale du projet. Cette approche est illustrée dans la figure 6.

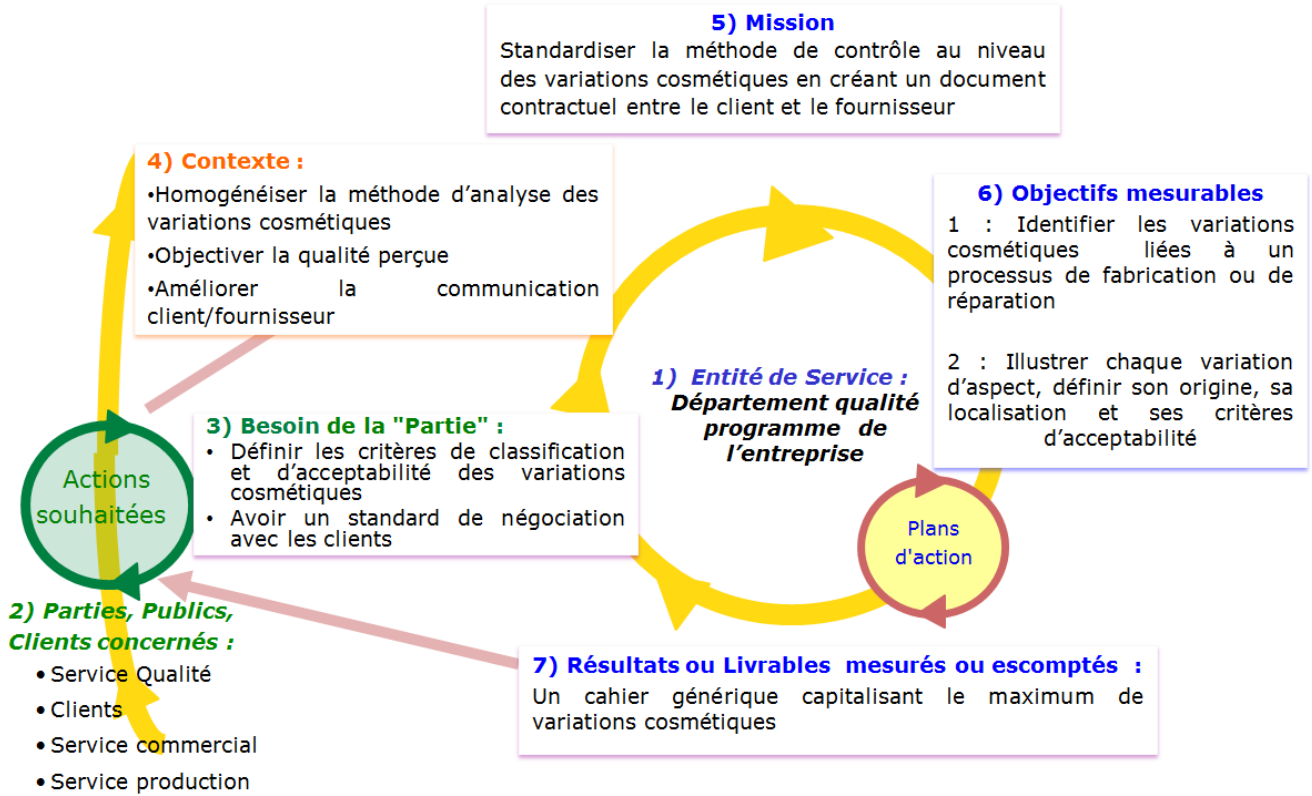


Figure 6 : La PDS du projet [Source : Auteur]



## *Chapitre 2 : Méthode d'élaboration du cahier cosmétique*

### *I. Choix de la méthode de résolution*

#### *1. Etude comparative des solutions possibles*

Afin d'élaborer un cahier cosmétique applicable à tout matériel fabriqué ou acheté par le groupe X, plusieurs propositions ont été discutées. Le but étant de créer un document facile à lire, à comprendre et à utiliser.

Dans cette étude, une analyse comparative des solutions proposées a été réalisée.

<b><i>Solution 1</i></b>	
Organiser le cahier cosmétique par procédés de fabrication et identifier toutes les variations d'aspect issues de chaque processus.	
<b><i>Avantages</i></b>	<b><i>Inconvénients</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification plus facile des variations</li> <li>• L'analyse de chaque processus de fabrication réduit le risque d'oubli</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu attractif vis-à-vis du client</li> <li>• Nécessite que l'utilisateur ait connaissances des procédés de fabrication des nacelles.</li> </ul>
<b><i>Solution 2</i></b>	
Organiser le cahier cosmétique en fonction de chaque élément constituant la nacelle et lister ensuite toutes les variations d'aspect susceptibles d'apparaître sur chaque composant.	
<b><i>Avantages</i></b>	<b><i>Inconvénients</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attractif</li> <li>• Facile à comprendre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nacelles avec différents design et architectures</li> <li>• Risque de redondance : Possibilité d'avoir la même variation sur différents composants de la nacelle</li> </ul>
<b><i>Solution 3</i></b>	
Organiser le cahier cosmétique par catégorie des variations et par fiches cosmétiques en fonction du type et de la nature de la variation d'aspect à traiter et à statuer.	
<b><i>Avantages</i></b>	<b><i>Inconvénients</i></b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Une meilleure structuration du document</li> <li>• Attractif</li> <li>• Facile à comprendre</li> <li>• Générique et applicable à tout type de nacelle</li> <li>• Facile à gérer et à mettre à jour</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque de ne pas recenser toutes les variations possibles.</li> </ul>

Tableau 1 : Etude comparative des solutions proposées [Source : auteur]

## 2. Justification de l'alternative choisie

Dans l'optique de répondre aux besoins des utilisateurs et atteindre efficacement les objectifs fixés, à savoir l'élaboration d'un cahier cosmétique générique, l'alternative choisie est la solution 3. Cette dernière s'avère le moyen le plus adapté pour la création d'un document utile, utilisé et utilisable sur tout type de matériel fabriqué ou acheté par le groupe.

Pour surmonter l'inconvénient préalablement cité de cette alternative, une réflexion par procédé a été menée afin d'identifier toutes les variations visuelles possibles.

Des critères de succès sur lesquels repose l'élaboration du cahier cosmétique sont définis dans la figure ci-dessous.

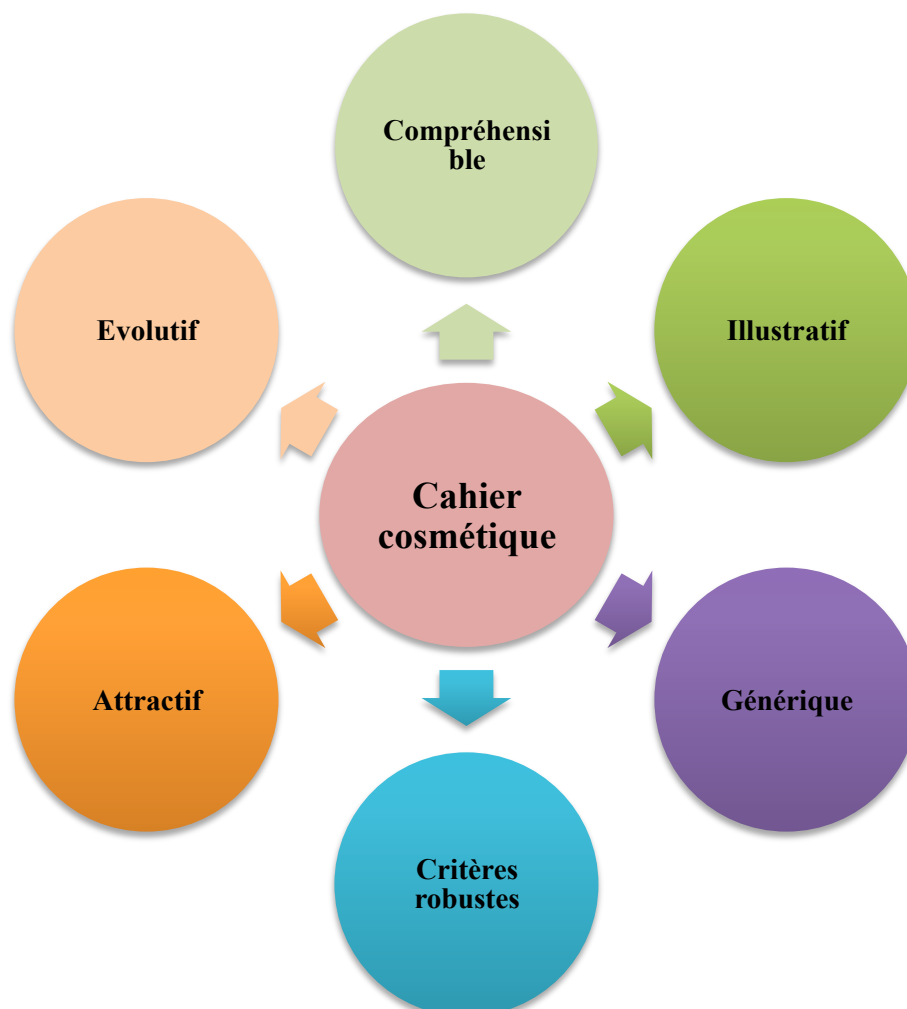


Figure 7 : Critères de succès du cahier cosmétique [Source : auteur]

## II. Mise en place de la méthode

En adaptant le cycle classique du PDCA au besoin du projet, la méthode utilisée pour répondre à la problématique est illustrée ci-dessous.



Figure 8 : Cycle SIPDC appliqué au projet [Source : auteur]

Le cycle s'explique comme suit :

<i>Etape</i>	<i>Explication</i>
<i>Study</i>	Comprendre les attendus du projet, étudier les tenants et aboutissants de la mission, faire un état des lieux de l'existant
<i>Identify</i>	Connaître ce qui existe déjà et ce qu'il reste à faire, prendre connaissance des procédés de fabrication des nacelles, identifier les éventuelles pistes d'amélioration
<i>Plan</i>	Planifier les actions et les améliorations à mettre en œuvre en forme et en contenu
<i>Do</i>	Réaliser ce qui a été prévu
<i>Check</i>	Evaluer les résultats et les valider avec les responsables, modifier le cahier suite aux remarques

Tableau 2 : Explication du cycle SIPDC [Source : auteur]

## 1. *Etat de l'art (Study)*

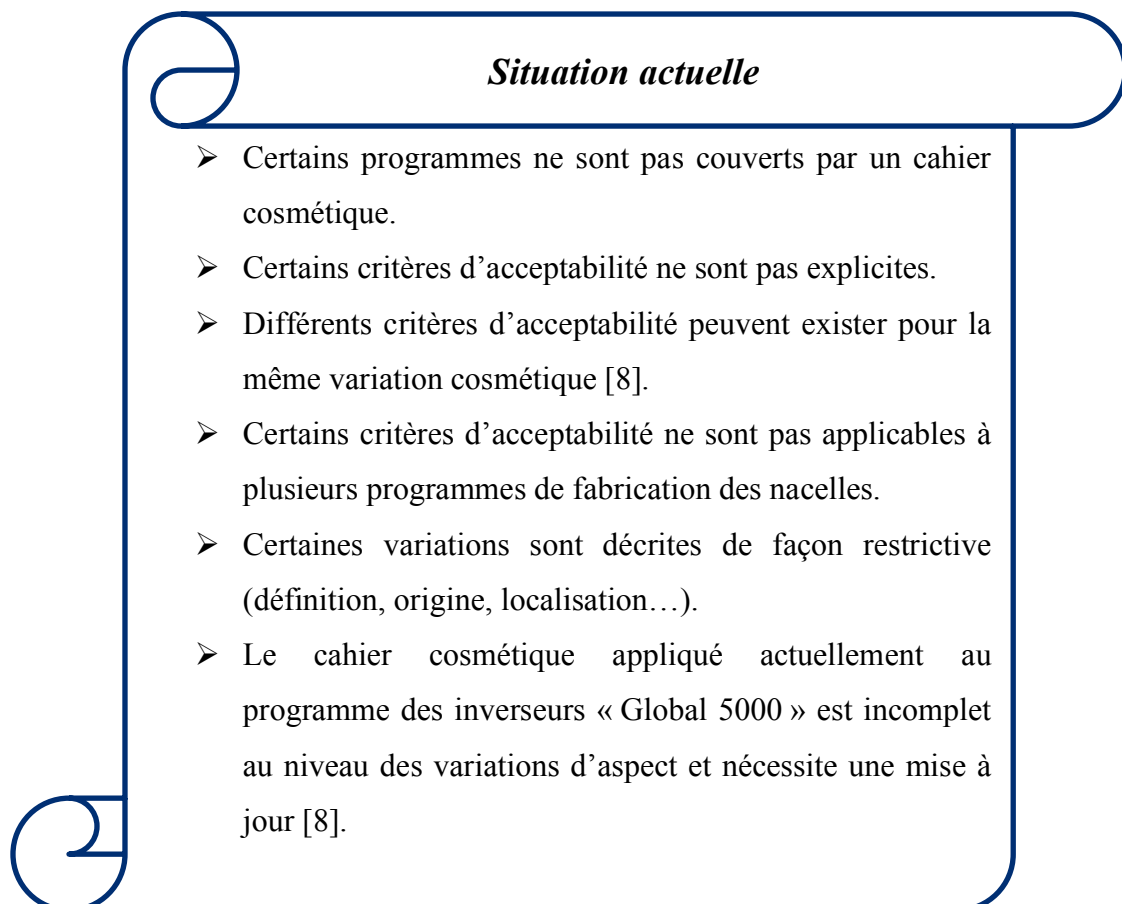
La première étape est une étape primordiale. Elle consiste à comprendre le contexte de la mission et définir le « Quoi », autrement dit, le besoin inhérent au projet ainsi que les facteurs clés de succès.

La communication à ce stade est un point essentiel pour cerner les finalités du projet, ses enjeux et son périmètre d'application. Elle permet de partager les mêmes objectifs et les mêmes enjeux pour réussir ensemble. En outre, le succès de tout projet dépend en grande partie de l'existence et de la clarté des objectifs à atteindre. Ainsi, réussir un projet c'est obtenir le résultat attendu en respectant les délais et les ressources accordés.

Dans ce sens, définir des objectifs S.M.A.R.T s'avère le moyen le plus adéquat pour clarifier les attendus du projet. Ceci passe par interviewer les différentes parties prenantes : les interfaces clients au sein du groupe, les inspecteurs, les responsables qualité....

Le deuxième axe de cette étape consiste à faire un état des lieux. Pour cela, un recensement a été réalisé de tous les cahiers cosmétiques existants au sein du groupe. Ces cahiers ont été élaborés en collaboration avec les clients sur les différents programmes fabriqués.

La figure 9 donne une vision globale sur la situation actuelle du groupe.



**Figure 9 : Situation actuelle du groupe [Source : auteur]**

## 2. Identifier les variations cosmétiques (Identify)

Cette étape a pour objectif d'identifier et de lister toutes les variations cosmétiques issues de chaque procédé de fabrication. Ensuite, se mettre d'accord avec les responsables sur ce qui sera intégré dans le cahier cosmétique. Ceci permet d'éviter la déviation d'utilisation constatée dans quelques documents existants. Cette déviation réside dans le traitement d'un défaut comme étant une variation d'aspect.

La création du cahier cosmétique se base sur 2 axes principaux.

- Un benchmark porte sur l'analyse des cahiers cosmétiques préexistants.
- Une analyse des procédés de fabrication au sein du groupe. Ceci a pour finalité de compléter ce qui manque et d'anticiper ce qu'on pourrait trouver comme variation à l'issue de chaque processus.

Une grande partie de ce travail porte sur les variations d'aspect des pièces composites. De ce fait, avant d'entamer l'identification des variations cosmétiques, il convient tout d'abord d'avoir un aperçu sur les matériaux composites. Une science en fort développement dans l'industrie aéronautique.

L'utilisation des matériaux composites et des procédés associés permet aux industriels d'optimiser le rapport caractéristique mécanique/masse des composants produits, ce qui représente le principal intérêt recherché dans la construction aéronautique [12].

La figure ci-dessous montre la grande utilisation des matériaux composites dans l'aéronautique, elle montre également que l'enveloppe des nacelles, le sujet de ce mémoire, est fabriqué en composite.

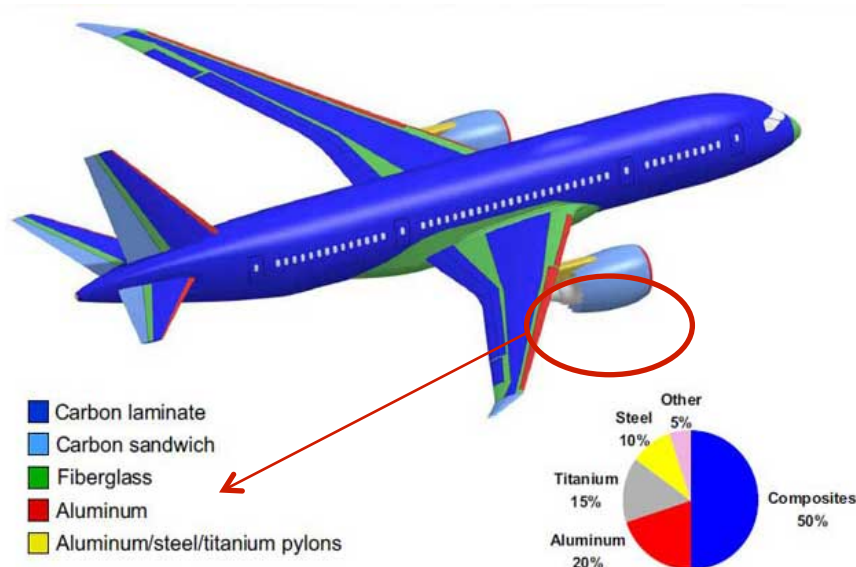


Figure 10 : Les matériaux composites dans l'industrie aéronautique [12]

## 2.1 Qu'est-ce qu'un matériau composite ?

Un matériau composite peut être défini comme un assemblage entre deux ou plusieurs constituants **non miscibles entre eux**, ils ne se mélangent pas mais **ils s'associent**. Le matériau issu de cette union possède des propriétés que chacun des éléments constitutifs pris séparément ne présente pas [13].

Les constituants de base d'un matériau composite sont **le renfort** et **la matrice**. Le renfort permet de rigidifier et d'augmenter la tenue mécanique de la pièce, tandis que la matrice assure la tenue physique et chimique, permet la transmission des efforts aux renforts et donne la forme souhaitée de la pièce fabriquée [13].

Les renforts les plus utilisés en industrie aéronautique sont les fibres de carbone. Ceci est justifié par leur résistance à la compression, à la haute température et par leur excellente rigidité. La demande en fibres de carbone dans ce secteur en 2015 représente plus de 13 000 tonnes dont 60% pour l'aviation commerciale [14].

## 2.2 Différentes architectures des matériaux composites

### Pièces monolithiques

Un composite monolithique ou stratifié est un empilage de différents tissus imprégnés de résine [15].

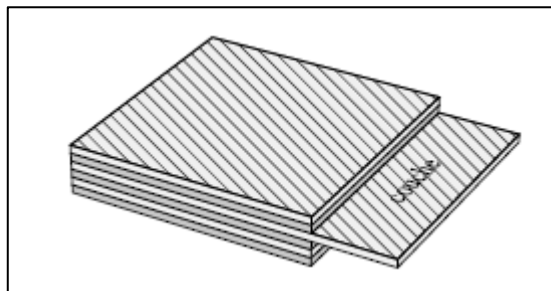


Figure 11 : Structure du composite monolithique [15]

### Pièces sandwichs

Une structure composite sandwich est composée de deux pièces composites monolithiques éloignées l'une de l'autre par une âme qui maintient leur écartement. Les âmes les plus utilisées sont les nids d'abeilles et les mousses [15]. La figure 12 montre une âme type nid d'abeille tandis que la figure 13 illustre la structure sandwich des pièces composites.

Le composite sandwich présente un fort intérêt pour les applications qui requièrent à la fois rigidité et légèreté. Sa conception permet aux stratifiés inférieurs et supérieurs de résister principalement aux efforts de flexion dans leur plan. L'âme supporte quant à elle les efforts de compression et de cisaillement hors plan, elle permet aussi de rigidifier la structure sans pénaliser fortement la masse de celle-ci [15].

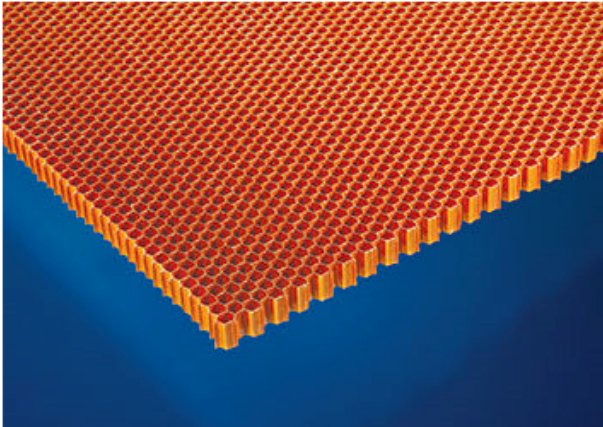


Figure 12 : Ame type nid d'abeilles [16]

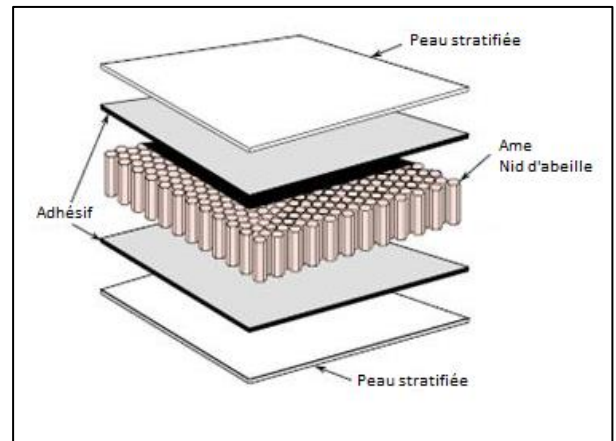


Figure 13 : Structure sandwich du composite [17]

### 2.3 Les procédés de fabrication

Il existe plusieurs procédés de fabrication des pièces composites. Au sein du groupe X le procédé le plus utilisé est le drapage des plis pré-imprégnés.

Ce procédé consiste à mettre en œuvre sur un moule des tissus découpés et imprégnés au préalable de la résine (BMI, Epoxy....).

La figure ci-dessous schématise le processus de fabrication des pièces composites monolithiques.

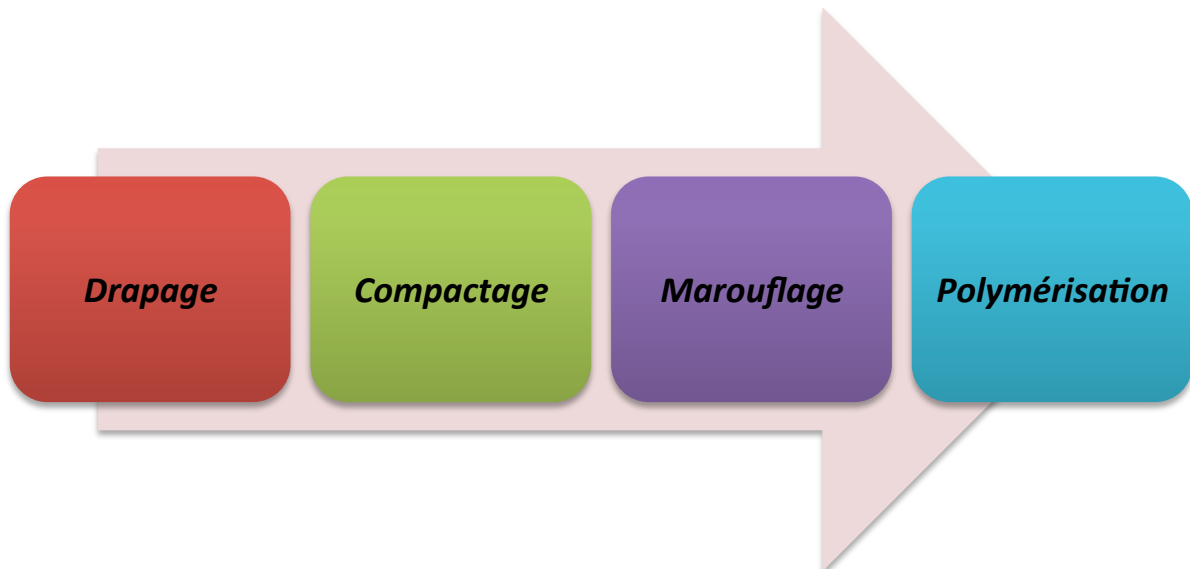


Figure 14 : Processus de fabrication des pièces composites monolithiques [Source : auteur]



### 3. Planification des actions à mettre en œuvre (Plan)

Suite à l'identification des variations cosmétiques, une planification des actions et des améliorations a été faite pour mener ce projet à terme dans les meilleures conditions possibles. Les actions ont été déterminées d'une part, pour cerner le périmètre d'application du document et d'autre part, analyser chaque variation cosmétique.

Six axes principaux ont été pris en compte :

- Illustrer la variation.
- Donner une définition concise, claire et compréhensible de la variation en question.
- Analyser les procédés de fabrication afin d'identifier sa ou ses causes potentielles.
- Définir sa localisation.
- Préciser le moyen de contrôle utilisé.
- Déterminer à quel point elle est acceptable.

Avant d'entamer la phase de la réalisation, une analyse SWOT a été mise en place pour anticiper les risques potentiels du projet

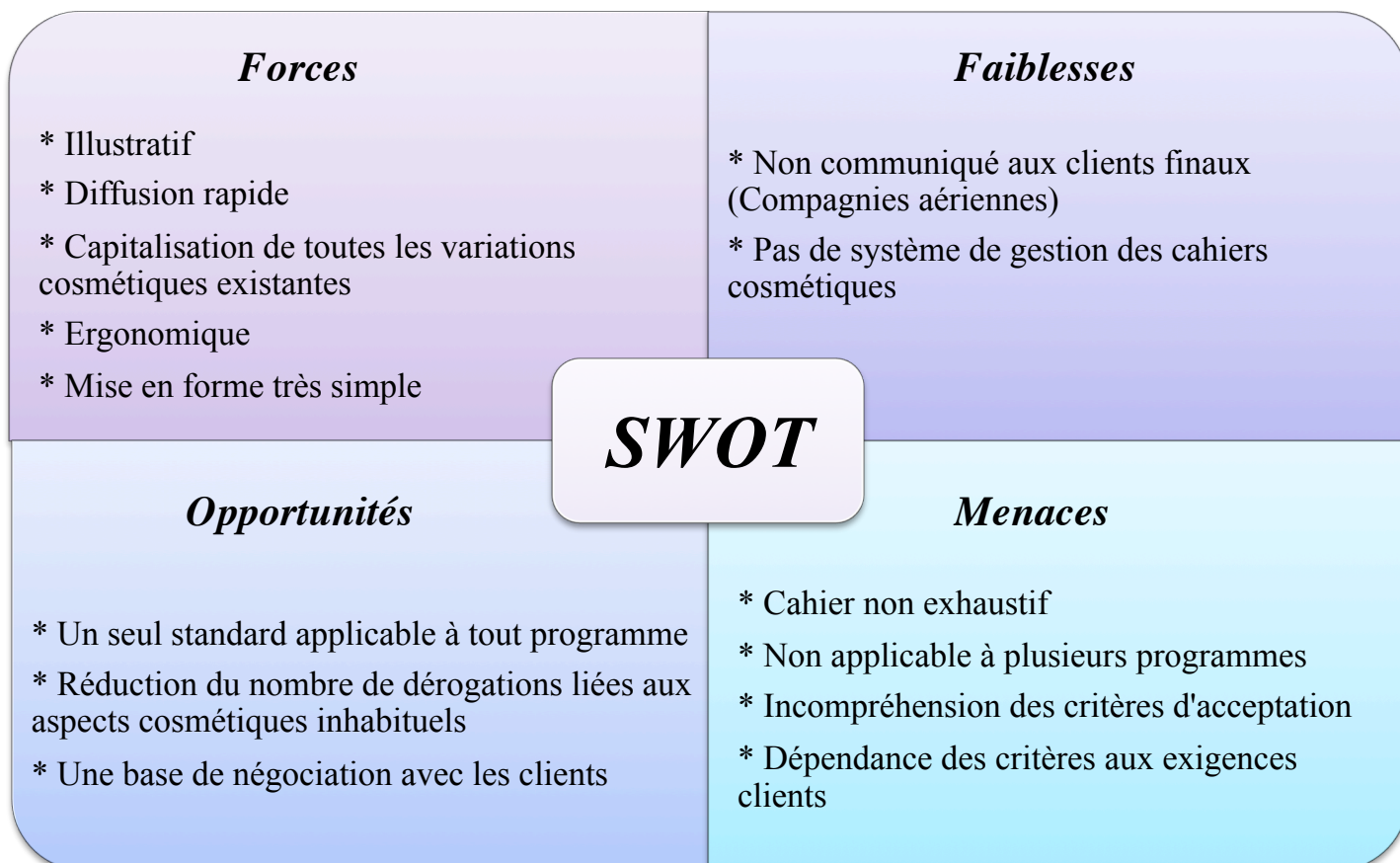


Figure 15 : Analyse SWOT lié au livrable [Source : auteur]



Les actions préventives déterminées suite à cette analyse sont :

- Maintenir une bonne communication avec les responsables des différents programmes. Ceci a pour objectif de recueillir leur avis sur les critères d'acceptabilité des variations cosmétiques.
- Solliciter les aides des différents services pour compléter ce qui manque en termes de compétences.
- Comparer le niveau d'exigence des critères d'acceptation des cahiers cosmétiques existants. Ceci vise à faciliter la communication avec les responsables des différents programmes lors de la validation interne du cahier cosmétique générique.
- Faire une analyse approfondie des procédés de fabrication pour anticiper les variations cosmétiques.
- Bien planifier le projet pour respecter les contraintes du temps.

#### *4. Réaliser ce qui a été prévu (Do)*

Suite à une période de découverte au niveau des matériaux composites et des procédés de fabrication et de récupération utilisés au sein du groupe, la première action a porté sur l'illustration et la définition de toutes les variations cosmétiques identifiées auparavant. L'illustration doit être claire et représentative de l'aspect en question tandis que la définition doit être concise et compréhensible par tous.

Ensuite, il a fallu analyser les procédés de fabrication pour identifier toutes les origines susceptibles de causer la variation d'aspect. Les causes doivent être issues du procédé standard de fabrication. En d'autres termes, une variation causée par un problème bien particulier ou par une mauvaise mise en œuvre du procédé n'est pas considérée comme une variation cosmétique. Cette dernière doit être traitée comme une non-conformité par le biais d'une demande de dérogation interne.

Parallèlement à ce travail, tout ce qui concerne la détermination des critères d'acceptabilité a été initié. Le but étant d'unifier la méthode de contrôle qualité entre le fournisseur et le client, il paraît judicieux de prendre en compte la localisation de la variation sur la nacelle et les conditions standards d'observation. Ceci vise à proposer des conditions d'inspection similaires, quel que soit l'inspecteur et de limiter les variations de perception.

Une série d'échanges a été organisée avec les responsables des différents programmes. Les objectifs de ces rencontres sont multiples :

- Recueillir la perception des clients sur les produits achetés. En d'autres termes, avoir une vision sur les attentes des clients, la nature des réclamations traitées comme aspect cosmétique inhabituel et l'intervalle de tolérance acceptable pour chaque client.
- Identifier les variations cosmétiques susceptibles de susciter des questions de la part des clients.

- Echanger sur les critères d'acceptation. Cet échange vise à définir des critères pouvant être applicables à plusieurs programmes et donc acceptables par différents clients.
- Identifier les opportunités d'amélioration.

L'élaboration du cahier cosmétique a été achevée en collaboration avec les différents services (Qualité, Méthodes, Production, Inspection...). Ce travail en équipe avec une grande variété d'interlocuteurs est un atout majeur dans la réussite du projet. Il représente également une source de richesse tant au niveau professionnel qu'au niveau personnel. Néanmoins, la réussite est liée à la volonté de chaque membre de contribuer au travail collectif. Ceci dit que le partage des mêmes objectifs, des mêmes enjeux, la compréhension des rôles de chacun et la nature des relations qui se créent, sont des facteurs essentiels à prendre en compte pour la cohésion de l'équipe et l'optimisation de la coordination.

### *5. Evaluer les résultats et intégrer les améliorations (Check)*

Afin d'évaluer les résultats de ce projet, des jalons périodiques ont été déterminés pour valider au fur et à mesure et cas par cas toutes les fiches cosmétiques présentes dans le cahier, ainsi que toutes les généralités concernant le document. En outre, ceci permet d'intégrer les améliorations proposées.

Le schéma ci-dessous illustre le processus de rédaction et d'amélioration du cahier cosmétique.

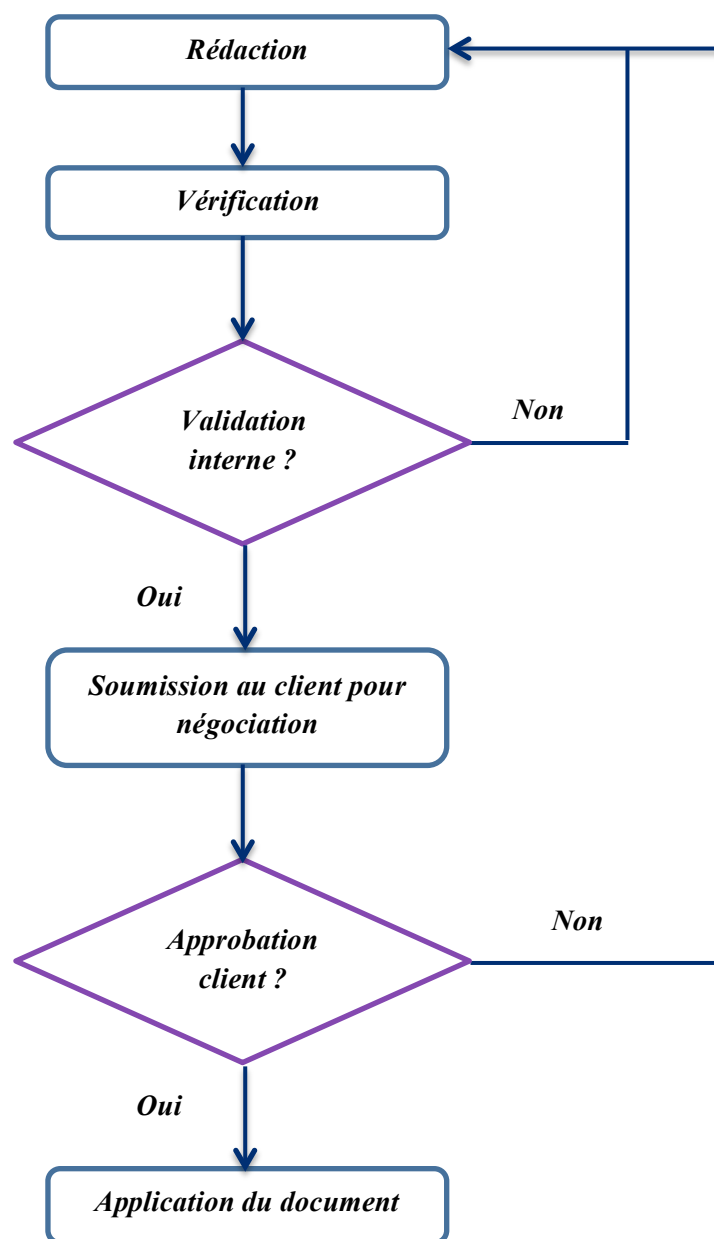


Figure 16 : Processus de rédaction et d'amélioration du cahier cosmétique [Source : auteur]

Une fois le document validé en interne au niveau du service Qualité, il sera présenté aux clients pour négociation, adaptation aux exigences clients, approbation et signature.

Le travail présenté dans le cadre de ce projet se termine à la validation interne du cahier cosmétique créé.

### ***III. Résultats escomptés***

Le cahier cosmétique a vocation à être utilisé par le service Qualité en interne du groupe afin de s'assurer que les produits répondent aux exigences visuelles négociées avec le client, et en externe par le client lui-même lors de la réception des matériels achetés.

Le cahier cosmétique sera structuré de la manière suivante :

- Généralités.
- Processus de décision.
- Zones cosmétiques.
- Conditions d'observation.
- Fiches cosmétiques.

Chaque fiche cosmétique doit intégrer :

- Au moins une photo qui permet d'illustrer la variation d'aspect.
- Une partie décrit la nature, la localisation, l'origine de la variation et le moyen de contrôle.
- Une partie définit le ou les critères d'acceptation.

Ces critères devront être définis en répondant aux exigences et aux attentes des clients sans générer la sur-qualité.

Pour que le document soit utilisable par toutes les parties prenantes que ce soit en interne du groupe ou en externe, il doit être rédigé dans les deux langues : Française et Anglaise.

## *Chapitre 3 : Résultats et Perspectives*

### *I. Résultats obtenus*

Le cahier cosmétique a pour objectif d'accompagner le client et le fournisseur dans leur démarche de contrôle qualité, autrement dit, la finalité principale recherchée est d'aligner ces deux parties prenantes sur la notion de la qualité perçue. Il vise ainsi à faciliter la prise de décision en termes d'acceptabilité et à déterminer le processus à suivre le cas échéant.

Pour cela, il est structuré en 4 parties principales : **Généralités, Processus de décision, Zones cosmétiques et conditions d'observation, Fiches des variations cosmétiques.**

#### **1. Généralités**

Cette première partie explique l'objectif du document et son périmètre d'application. Elle précise également la définition d'un aspect cosmétique pour lever toute ambiguïté et mettre en évidence qu'un aspect cosmétique n'a aucun impact sur la fonction ou la performance du matériel. Ensuite, elle donne une vision générale sur le contenu des fiches cosmétiques.

#### **2. Processus de décision**

Cette étape a été répartie en deux grandes sections :

*Le logigramme de décision* : présente le chemin à suivre en cas de détection d'une variation cosmétique lors du contrôle. Ceci permet de faciliter la prise de décision vis-à-vis de la variation à traiter ou à statuer.

Pour cela 3 types de décision ont été identifiés :

- **Variation acceptable** : Ceci signifie que la variation identifiée a été déjà mentionnée sur le cahier cosmétique et elle rentre dans l'intervalle de tolérance précisé sur la fiche cosmétique. Dans ce cas aucune traçabilité n'est nécessaire.
- **Variation soumise à une dérogation interne** : Si les caractéristiques de la variation détectée sont au-dessus des critères d'acceptation définis dans la fiche appropriée, la variation est acceptable sous réserve d'une dérogation interne de l'entreprise. La traçabilité est assurée selon la procédure de traitement des non-conformités.
- **Variation soumise à une dérogation client** : La variation requiert un avis ou un traitement client avant la livraison du matériel. Ce cas se présente lorsque les caractéristiques de la variation sont au-dessus des limites de concession, ou lorsqu'une récupération ou une réparation pourrait causer un aspect cosmétique non acceptable par le client.

**Processus d'activité** : vise à donner plus de détails sur le logigramme en précisant à chaque étape les activités à mener, les données de sortie de chaque activité et le type de traçabilité en interne de l'entreprise.

### 3. Conditions d'observation et zones cosmétiques

**Conditions d'observation** : Elles ont pour objectif d'harmoniser la méthode de contrôle de la nacelle au niveau des variations cosmétiques et de limiter les variations de perception. En effet, l'aspect visuel n'est pas toujours le même lorsque les conditions d'observation sont différentes. Pour cela, se mettre d'accord sur des conditions standards permet à tous les observateurs de voir la même chose.

Ces conditions portent sur la distance d'observation à respecter, le type de luminosité à utiliser et la position de la nacelle. Sans le respect de ces dernières, le cahier cosmétique créé ne sera plus applicable.

**Zones cosmétiques** : Les exigences cosmétiques dépendent de la localisation de la variation sur la nacelle. Par exemple, une rayure clairement visible du client lors de l'achat du matériel ne se traite pas de la même façon qu'une rayure visible seulement par le personnel de maintenance. De ce fait, le produit a été réparti en 3 zones cosmétiques, allant du très sensible au moins sensible vis-à-vis des clients :

- **Zone A** : Zone fortement sensible et directement visible par le client.
- **Zone B** : Zone sensible, visible par le personnel de maintenance ou par le client lors de l'inspection avant livraison.
- **Zone C** : Zone non visible par le client, zone accessible après démontage de la pièce, hors zones A et B.

### 4. Fiches des variations cosmétiques

107 variations cosmétiques ont été identifiées et réparties en 7 catégories principales. Cette répartition vise à organiser le document pour qu'il soit applicable par type du matériau. En effet, une rayure sur une pièce composite ne sera pas traitée de la même manière qu'une rayure sur une pièce métallique, ou sur un tuyau hydraulique. A chaque cas, des critères d'acceptation peuvent être associés.

Ainsi, les variations cosmétiques ont été classées par catégorie et organisées par fiche cosmétique. Chaque fiche contient les éléments suivants :

- Un support visuel de la variation d'aspect : l'objectif est d'illustrer la variation et d'en faciliter l'identification lors du contrôle qualité. Il vise également à simplifier la compréhension de la variation en question.
- Une partie définit la variation, précise ses localisations possibles et détermine ses origines potentielles. Cette partie permet d'une part, de compléter le support visuel et d'éviter toute ambiguïté et d'autre part, de cerner toutes les origines susceptibles de

causer la variation. En d'autres termes, une variation issue d'une cause qui n'est pas mentionnée sur la fiche, est considérée comme un aspect inhabituel, elle n'est pas couverte par le cahier cosmétique, et il faut la traiter comme une non-conformité.

- Une partie porte sur la définition des critères d'acceptabilité, le moyen de contrôle et la décision à prendre. En effet, dans un monde parfait il n'y aurait pas de différence entre la qualité attendue et la qualité perçue. Ceci est difficilement réalisable compte tenu de l'irrationnel et la subjectivité de tout client dans la perception de la qualité du produit. Ainsi, la détermination des critères d'acceptabilité et leur approbation par les clients visent à anticiper leur réaction lors de la réception des produits. Ils permettent donc de réduire l'écart entre, la qualité perçue et celle attendue par le client.

Concernant l'avancement des travaux, comme l'indique le graphe ci-dessous, il reste 14% de variations à traiter, soit 15 variations à finaliser sur les 107 initiales.

### Traitement des variations cosmétiques

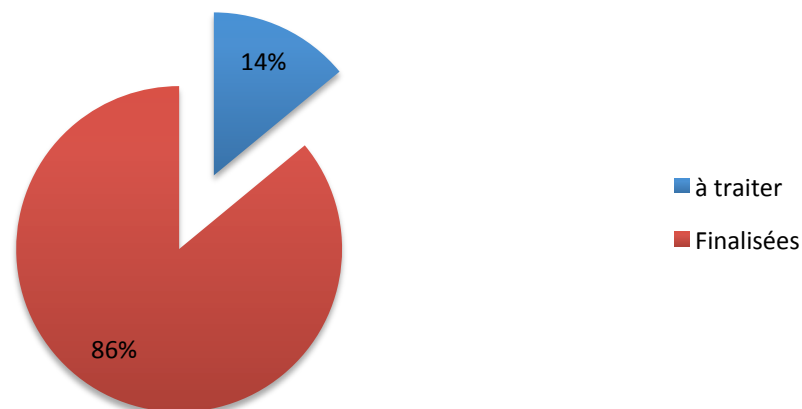


Figure 17 : Représentation du traitement des variations cosmétiques [Source : auteur]

## II. Perspectives

La figure ci-dessous présente les perspectives du cahier cosmétique générique par ordre de priorités, du plus court au plus long terme.

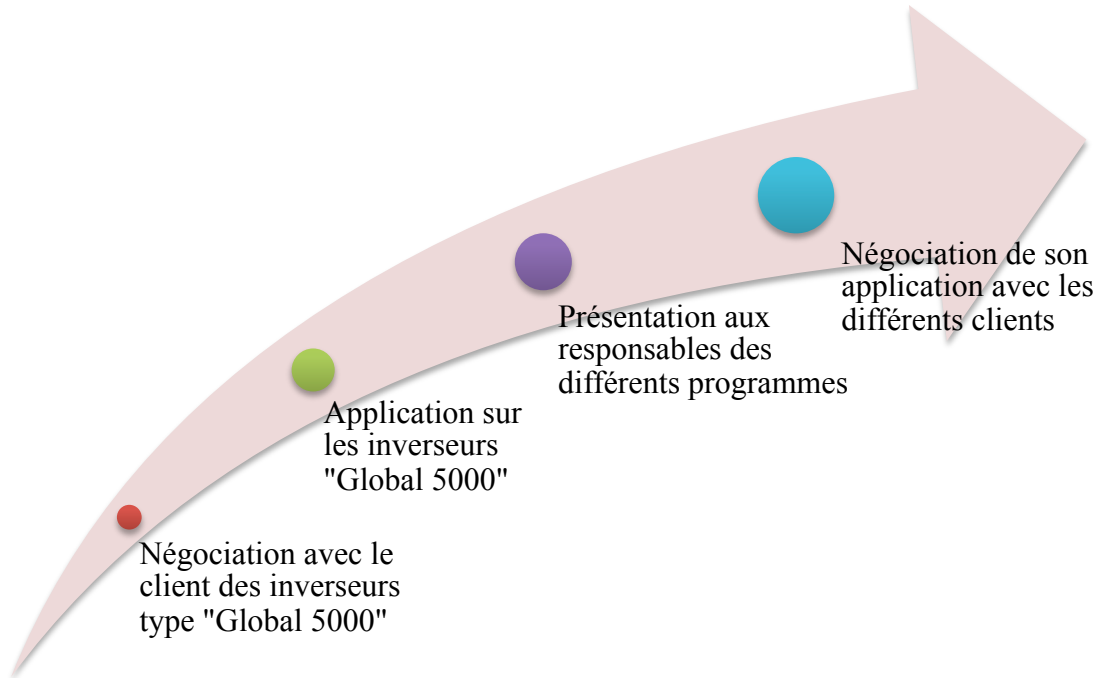


Figure 18 : Perspectives du projet [Source : auteur]

Les perspectives sont donc tout d'abord de négocier son application sur les inverseurs type « Global 5000 », puis d'assurer son utilisation, sa mise à jour et son bon fonctionnement sur ces inverseurs. Ensuite, le présenter aux responsables des autres programmes pour validation. Une fois validé en interne, il sera présenté aux autres clients pour négociation, adaptation à leurs exigences et approbation. L'application et le respect du cahier cosmétique représente donc un enjeu majeur pour le groupe tant pour les nouveaux programmes que pour ceux en série.



## *Conclusion*

Ce projet au sein d'un groupe leader dans le domaine aéronautique m'a permis de découvrir un nouveau secteur, évoluer dans un cadre très exigeant, enrichir ma culture sur les procédés de fabrication des nacelles et démontrer ma capacité d'adaptation dans un environnement international. J'ai eu également l'occasion de me déplacer sur d'autres sites du groupe en France et au Maroc. Ceci m'a permis de rencontrer une grande variété d'interlocuteurs, de travailler mon relationnel et d'améliorer ma manière de communiquer autant au niveau interdisciplinaire, institutionnel et international.

Cette expérience enrichissante a confirmé ma volonté d'orienter mon projet professionnel vers le monde de l'aéronautique. J'ai pris conscience de l'ampleur organisationnelle en termes de qualité. En outre, en tant qu'ingénieur qualité, il est nécessaire de collaborer avec des personnes de tous cœurs de métier, ce qui est une source de richesse tant au niveau professionnel qu'au niveau personnel.

Grâce à ce stage j'ai également développé mes compétences métiers, ma capacité d'écoute, d'analyse et mon esprit de synthèse. La figure ci-dessous donne une vision globale sur les apports du projet en termes de compétences acquises. Une échelle d'évaluation a été choisie allant de 1 à 10, la valeur 10 correspond à une bonne maîtrise de la compétence évaluée.

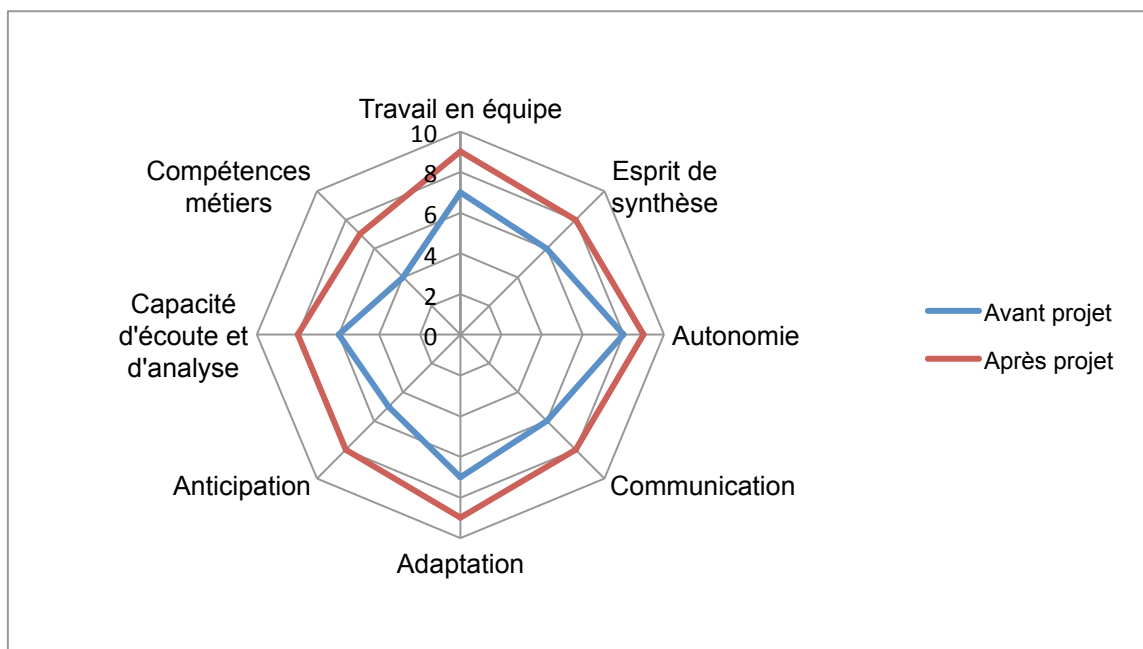


Figure 19 : Représentation de l'autoévaluation des compétences projet [Source : auteur]

Ce projet m'a aussi permis de rendre compte du fait que la qualité perçue est un point très sensible dans le processus de réception et d'acceptation du produit. Ce n'est pas toujours facile de convaincre le client de réduire l'écart entre ce qu'il attend et ce qu'il reçoit réellement. Pour cela, construire et maintenir une bonne communication avec les clients est indispensable pour anticiper leurs besoins, partager avec eux ce qui pourrait être généré par les procédés de fabrication en terme de cosmétique et les rassurer au niveau de la qualité obtenue. Ceci permet aussi à l'entreprise de fabriquer des produits avec le bon niveau de qualité cosmétique, en intégrant le réflexe client et en rendant sa voix omniprésente à toutes les étapes de la production.

## *Bibliographie*

- [1] **Jean-Louis GIORDANO** « L'approche Qualité Perçue ». [En ligne]. Disponible sur : [http://www.eyrolles.com/Chapitres/9782708134935/Chap1\\_Giordano.pdf](http://www.eyrolles.com/Chapitres/9782708134935/Chap1_Giordano.pdf). [Consulté le : 10-Mars-2016].
- [2] **Norme « ISO 9000 : Management de la qualité »**. [En ligne]. Disponible sur : [http://www.iso.org/iso/fr/iso\\_9000](http://www.iso.org/iso/fr/iso_9000). [Consulté le : 10-Mars-2016].
- [3] **Virginie Gardette** « Principes d'une démarche d'assurance qualité, évaluation des pratiques professionnelles ». [En ligne]. Disponible sur : [http://www.medecine.ups-tlse.fr/DCEM2/module1/sous\\_module4/001\\_Principes\\_demarche\\_0'assurance\\_qualite.pdf](http://www.medecine.ups-tlse.fr/DCEM2/module1/sous_module4/001_Principes_demarche_0'assurance_qualite.pdf). [Consulté le : 15-Mars-2016].
- [4] **Jean-Pierre Caliste** « La Qualité : Une vocation : Satisfaire ». [En ligne]. Disponible sur : [http://www.laas.fr/files/21/Caracterisation/Qualite/080725\\_conference\\_JPCaliste.pdf](http://www.laas.fr/files/21/Caracterisation/Qualite/080725_conference_JPCaliste.pdf). [Consulté le : 23-Mai-2016].
- [5] **Le site aéronautique** « Inverseurs de poussée ». [En ligne]. Disponible sur : <http://siteaero.free.fr/reverser.htm>. [Consulté le : 15-Mars-2016].
- [6] **Les turbomachines** « Les éléments composants une turbine à gaz ». [En ligne]. Disponible sur : <http://www.lavionnaire.fr/MotorElements.php>. [Consulté le : 10-Mars-2016].
- [7] **Rolls Royce** « The jet engine , 5ème édition». Ed: John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- [8] **Documents internes du groupe X.**
- [9] **Aeronestv.com** « L'acoustique des nacelles » publié le 15-Mars-2016. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.aeronestv.com/fr/industrie/equipementier-aeronautiques/1314-lacoustique-des-nacelles.html>. [Consulté le : 18-Mars2016].
- [10] **Jeff Scott** « Aerospaceweb.org | Ask Us - Thrust Reversing », 7-Janvier-2001. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.aerospaceweb.org/question/propulsion/q0008a.shtml>. [Consulté le : 09-Mars-2016].
- [11] **Richaud Prigent** « LES TURBOREACTEURS. Généralités Propulseurs aviation : Modification Turbine à gaz • Combinaison TG et Tuyère d'éjection • Hélice remplacée par le fan ». [En ligne]. Disponible sur <http://slideplayer.fr/slide/3695757/>. [Consulté le : 16-Mars-2015].
- [12] **Matériaux Composites en Aéronautique.** [En ligne]. Disponible sur : <http://www.composite.free.fr/>. [Consulté le: 01-Avril-2016].
- [13] **Fonds documentaire matériaux composites - Glossaire Matériaux Composites\_CARMA.** [En ligne]. Disponible sur : [http://www.eyrolles.com/Chapitres/9782708134935/Chap1\\_Giordano.pdf](http://www.eyrolles.com/Chapitres/9782708134935/Chap1_Giordano.pdf). [Consulté le : 10-Mars-2016] ».
- [14] **Partie 4 : Les composites renforcés de fibres de carbone.** [En ligne]. Disponible sur : <http://www.pluscomposites.eu>. [Consulté le: 16-Mai-2016].

[15] **Laurent Gornet** « Généralités sur les matériaux composites ». [En ligne]. Disponible sur : <https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00470296v1/document>. [Consulté le: 01-Avril-2016].

[16] **Matériau d'âme nid d'abeille en aramide - nomex**. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.nauticexpo.fr/prod/plascore-gmbh-cokg/product-26310-172874.html>. [Consulté le: 16-Mai-2016].

[17] **François Horel** « Modélisation analytique de l'amortissement des poutres composites sandwich contenant des couches viscoélastiques ». [En ligne]. Disponible sur : <http://docplayer.fr/6049561-Modelisation-analytique-de-l-amortissement-des-poutres-composites-sandwich-contenant-des-couches-viscoelastiques.html>. [Consulté le: 16-Mai-2016].