



HAL
open science

L'innovation dans l'industrie hélicoptériste

Laurence Ferrari

► **To cite this version:**

Laurence Ferrari. L'innovation dans l'industrie hélicoptériste. Autre. Conservatoire national des arts et métiers - CNAM, 2011. Français. NNT : 2011CNAM0777 . tel-03510176

HAL Id: tel-03510176

<https://theses.hal.science/tel-03510176>

Submitted on 4 Jan 2022

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

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

ÉCOLE DOCTORALE ED390

**LGP2ES Laboratoire de génie des procédés
pour l'environnement, l'énergie et la santé EA21**

THÈSE

présentée par :

Laurence FERRARI

soutenue le **28 septembre 2011**

pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**

Discipline/ Spécialité : **ENERGETIQUE**

**L'INNOVATION DANS L'INDUSTRIE
HELICOPTERISTE**

THÈSE dirigée par :

M. DESCOMBES Georges
M. MALBURET François

Professeur des Universités, Cnam
Maitre de Conférences, Arts et Métiers ParisTech

RAPPORTEURS :

M. DESMET Bernard
M. MASSOUH Fawaz

Professeur des Universités, Université de Valenciennes, Ensiame
Professeur des Universités, Arts et Métiers ParisTech

JURY :

Melle PERILHON Christelle
Mme PORTE Catherine
M. DESCOMBES Georges
M. DESMET Bernard
M. MALBURET François
M. TAPAVICZA Marko

Maitre de Conférence, CNAM
Professeur des Universités, Cnam
Professeur des Universités, Cnam
Professeur des Universités, Université de Valenciennes, Ensiame
Maitre de Conférences, Arts et Métiers ParisTech
Professeur des Universités, Technische Universität München.

INVITE :

M. FERRIER Jean-Jacques

Directeur du Département Innovation, Eurocopter

A mon frère, Dr Jérôme FERRARI

Remerciements

Je remercie tout d'abord Mr Tomasz Krynski, ancien directeur du département Innovation, qui m'a recrutée et offert l'opportunité de travailler sur ce thème. Nombre de situations critiques n'ont été dépassées que grâce à son enthousiasme. Je remercie Mr Jean-Jacques Ferrier, son successeur, d'avoir partagé sa passion de l'aéronautique.

Je remercie les professeurs Georges Descombes et Catherine Porte pour m'avoir accueillie dans leur laboratoire de recherche du CNAM et fait apprécier leur rigueur académique. Je remercie Mme Christelle Périllon d'avoir si gentiment facilité toutes mes démarches administratives, dans un environnement bouleversé. Je remercie particulièrement Mr François Malburet, maître de conférences à Arts et Métiers ParisTech, de m'avoir accompagnée dans le quotidien de cette aventure.

Je tiens à remercier Mr François Potdevin et l'ensemble de son équipe du service de la Propriété Intellectuelle, du temps et de la confiance qu'ils m'ont accordée. Je remercie en particulier Mr Richard Pire et Mr Jean-Marie Dequidt qui m'ont guidée pour déposer un brevet.

Je remercie Mr Laurent Joffrin et Mr Joseph Bianco du service logistique de l'efficacité de leurs interventions sur l'ensemble des projets d'innovation et de leur bonne humeur.

Je remercie Mr Bernard Certain, Dr François-Xavier Filias, Dr Jérôme Geneix, Mr Pascal Leguay, Mr Vincent Routhieau et Mr Alain Vuillet de leurs judicieux conseils. Leur expertise technique a été une aide précieuse. Je remercie Dr Cédric Lopez d'avoir relu ce rapport.

Je remercie enfin le Professeur Marko von Tapavicza de son soutien amical.

Résumé

L'industrie hélicoptériste est une industrie de haute technologie caractérisée essentiellement par la taille réduite de son marché, le faible nombre de concurrents, la fréquence des situations monopolistiques établies par les fournisseurs, une réglementation exigeante et des contraintes technologiques spécifiques de conception. Ses projets ont souvent connu ces dernières années des dérives temporelles et budgétaires. Le développement des nouvelles technologies d'informations, les avancées des connaissances aérodynamiques et les nouveaux matériaux la propulse actuellement à un carrefour industriel de son histoire.

Cette thèse a pour objectif de soutenir les efforts de développement d'un des leaders mondiaux de l'industrie hélicoptériste, dans un contexte de compétition orientée vers l'innovation. Les retours d'expérience de projets ont mis en lumière des situations récurrentes contrariant leur aboutissement. Les solutions conséquentes proposées pour favoriser l'innovation sont basées sur la valorisation d'un état d'esprit plutôt que une optimisation structurelle ou la recherche de méthode de créativité.

Mots clés : Innovation – Hélicoptère – Compétition – Projet – Structure

Résumé en anglais

The helicopter industry is a high tech industry characterised in essence by the small size of its market, the low number of competitors, the high frequency of monopolistic situations set up by suppliers, demanding regulations and specific technological design constraints.

In the last few years, projects have been affected by time and budgetary limitations. The development of new information technologies, the advances in the knowledge of aerodynamics and new materials are, in fact, thrusting the industry towards an seminal point.

The aim of this thesis is to support the developmental efforts of one of the world leaders in the helicopter industry, in a context of competition geared to innovation. Feedback from projects has highlighted recurring situations, which have frustrated (positive) outcomes. Therefore, recommended solutions to promote innovation are based on the value of the industry's ethos or frame of mind rather than structural improvement or even creative research methods.

Keywords: Innovation – Helicopter – Competition – Project - Structure

Table des matières

Remerciements	5
Résumé	7
Résumé en anglais	8
Table des matières	9
Liste des tableaux	13
Liste des figures	14
Liste des annexes	17
Introduction	19
Contexte	21
Problématiques	23
Organisation	24
Plan de la thèse	25
Première partie Identification des problématiques	29
1. Périmètre de l'étude	31
Introduction	31
1.1 Etat de l'art	33
1.2 Périmètre théorique	37
1.2.1 Définitions de l'innovation	37
1.2.2 Limitations du périmètre en sciences économiques	40
1.2.3 Limitation du périmètre en sciences humaines	44
1.2.4 Limitation du périmètre en science de l'ingénieur	47
1.2.5 Cas particulier de la notion de gestion des risques	48
1.3 Conséquences pratiques	50
1.3.1 Outils stratégiques	50
1.3.2 Outils économiques	51
1.3.3 Outils d'analyses des risques	54
Conclusion	54
2. Présentation du contexte industriel	57
Introduction	57
2.1 Présentation de l'industrie hélicoptériste	59
2.1.1 Le marché des hélicoptères	59
2.1.2 Panorama des hélicoptéristes	64

2.2.3 Analyse de la concurrence.....	70
2.2 Tendances d'évolution	73
2.2.1 Direction de recherche	74
2.2.2 Les nouvelles formules.....	85
2.2.3 Analyse des pistes d'innovation.....	92
Conclusion.....	94
3. Spécificités de l'industrie hélicoptériste	97
Introduction	97
3.1 Caractéristiques commerciales.....	98
3.1.1 Coûts élevés (achat, exploitation, entretien)	98
3.1.2 Vente aux professionnels	99
3.1.3 Faible quantité de vente.....	100
3.1.4 Concentration des industriels	101
3.2 Caractéristiques industrielles.....	102
3.2.1 Environnement réglementaire exigeant.....	102
3.2.2 Situations monopolistiques fréquentes.....	104
3.3.3 Contrainte de gestion de l'obsolescence	108
3.3.4 Longueur des délais d'approvisionnement.....	112
3.3 Caractéristiques technologiques	113
3.3.1 Manque de maturité technologique	113
3.3.2 Minimisation de la masse	116
3.3.3 Utilisation en conditions hostiles	118
3.3.4 Contraintes sécuritaires de navigabilité.....	118
3.3.5 Vibrations	120
3.3.6 Motorisation et besoin de forte puissance	121
3.3.7 Transmission de forte puissance	122
3.4 Caractéristiques stratégiques	125
3.4.1 Constructeur aéronautique.....	125
3.4.2 Personnalisation des produits	128
3.4.3 Propriété intellectuelle ciblée	129
3.5 Caractéristiques politiques	131
3.5.1 Influence des relations internationales	131
3.5.2 Protectionnisme.....	132
Conclusion.....	136

Deuxième partie Analyse et Propositions	137
4. Les programmes d'innovations	139
Introduction	139
4.1 Les programmes d'hélicoptères	140
4.1.1 Boeing Bell V22 « Osprey »	141
4.1.2 Sikorsky RAH-66 « Comanche ».....	144
4.1.3 Agusta Westland AW139.....	147
4.1.4 Fairey « Rotodyne»	149
4.1.5 Eurocopter « Ecureuil ».....	151
4.1.6 Synthèse	154
4.2 Retours d'expérience.....	157
4.2.1 Défis technologiques	158
4.2.2 Complexité des programmes	162
4.2.3 Interprétation	165
Conclusion.....	168
5. Les projets d'innovations	171
Introduction	171
5.1 Les projets d'innovation.....	172
5.1.1 Conception d'une servo - commande.....	175
5.1.2 Conception d'un vérin série	178
5.1.3 Système de réglage anti vibratoire	181
5.1.4 Outil de câblage.....	183
5.1.5 Transmission super critique	184
5.1.6 Synthèse	187
5.2 Retours d'expérience.....	189
5.2.1 Gestion de crise	190
5.2.2 Confidentialité versus compétitivité.....	195
5.2.3 Application.....	202
Conclusion.....	205
6. Structure et Organisation.....	207
Introduction	207
6.1 Création d'un Processus d'innovation.....	207
6.1.1 Création de valeur ajoutée.....	207
6.1.2 Retours d'expérience.....	210

6.2 Implémentation du processus d'innovation.....	215
6.2.1 Influence de la structure	215
6.2.2 Influence de l'organisation.....	217
6.3 Culture d'innovation	219
6.3.1 Profil des innovateurs.....	219
6.3.2 Indicateurs d'innovation.....	221
Conclusion.....	222
7. Propositions.....	223
Introduction	223
7.1 Propositions méthodologiques	223
7.1.1 Guide d'accompagnement pour la préparation de projets.....	223
7.1.2 Méthode de gestion de la sécurité	224
7.1.3 Outils de développement de la créativité : centre culturel d'innovation.....	227
7.2 Propositions d'innovations.....	228
7.2.1 Proposition d'un brevet : couple hélicoptère mère – drone détachable	230
7.2.2 Proposition de programmes : OPV maritime et hélicoptère de luxe.....	230
Conclusion.....	235
Résumé.....	255
Résumé en anglais.....	255

Liste des tableaux

Tableau 1 : Définition retenue de l'innovation.....	39
Tableau 2 : Caractérisation retenue de l'innovation	40
Tableau 3 : Approches stratégiques courantes retenues.....	50
Tableau 4 : les six grandes étapes stratégiques	52
Tableau 5 : notions économiques	53
Tableau 6 : Définition personnelle de l'innovation	55
Tableau 7: spécificités industrielle: principales causes et conséquences pour l'innovation...	135
Tableau 8 : Analyse des conflits	192
Tableau 9 : Exemples de contrariétés entre innovation et sécurité	198

Liste des figures

Figure 1 : Eurocopter en quelques chiffres	22
Figure 2 : Vocabulaire de l'innovation	31
Figure 3 : L'innovation ? Elle est aussi ancienne que la roue.....	32
Figure 4 : Quatre approches fondamentales de la stratégie.....	42
Figure 5 : G. Hoftede.....	46
Figure 6 : Compétition et produit dérivés	60
Figure 7 : Evolution des ventes civiles et militaires (Bases de données Eurocopter).....	61
Figure 8 : Exemples de missions.....	62
Figure 9 : Concentration des acteurs aéronautiques en Europe	63
Figure 10 : Concentration des acteurs aéronautiques aux Etats-Unis	63
Figure 11 : Parts de marchés des hélicoptéristes (en valeurs).....	64
Figure 12 : Logos et succès commerciaux des principaux hélicoptéristes.....	65
Figure 13 : Logos des hélicoptéristes.....	66
Figure 14 : Exemples de constructeurs d'hélicoptères légers.....	67
Figure 15 : Position D'EUROCOPTER dans le groupe EADS.....	68
Figure 16 : Sites d'Eurocopter : implantation des filiales.....	68
Figure 17 : Hélicoptères Eurocopter	69
Figure 18 : Principaux axes stratégiques d'innovation.....	74
Figure 19 : Principales causes d'accidents d'hélicoptères	76
Figure 20 : Innovations visant à améliorer la sécurité	76
Figure 21 : Directions d'innovations centrées sur le client.....	77
Figure 22 : Affichages des volontés écologiques.....	81
Figure 23 : Directions d'innovations écologiques	82
Figure 24 : Vers plus d'autonomie des équipements.....	84
Figure 25 : Exemples de drones en vol stationnaire.....	85
Figure 26 : Exemples d'évolution des formules	85
Figure 27 : Principales causes de limitations de la vitesse des hélicoptères.....	87
Figure 28 : Principe de fonctionnement d'un convertible	88
Figure 29 : Vol d'avancement d'un hélicoptère.....	88
Figure 30 : Principe de sustentation d'un hélicoptère à rotors coaxiaux	88
Figure 31 : Formules rapides concurrentes	89
Figure 32 : Illustrations de formules insolites.....	91

Figure 33: Illustration du partage du marché en fonction du nombre de concurrents	92
Figure 34 : Exemples de rotors	94
Figure 35 : Séquence d'apprentissage et d'évolution de la réglementation.....	103
Figure 36 : Origine des produits constituant un hélicoptère	104
Figure 37 : Exemples de monopoles	105
Figure 38 : Exemple d'obsolescence	108
Figure 39 : Exemple de caractéristiques technologiques	113
Figure 40 : Cycle de vie d'un produit	114
Figure 41 : Comparaison des cycles de vies	115
Figure 42 : Architecture des voitures (nombre de roues).....	115
Figure 43 : Architecture des hélicoptères (technologie du rotor).....	116
Figure 44 : Utilisation des matériaux composites sur les hélicoptères – (source UFH)	117
Figure 45 : Nervures d'ailes d'avion	117
Figure 46 : Exemple de pièce complexe : Pignon de conjugaison de l'AS 332	124
Figure 47 : Illustrations des secteurs de métiers d'Eurocopter	126
Figure 48 : Configurateur automobile.....	128
Figure 49 : Illustrations des brevets : Starflex et Sarib	129
Figure 50 : Illustrations des caractéristiques politiques	131
Figure 51 : Grands programmes retardés	140
Figure 52 : Evolution de l'industrie aéronautique américaine	140
Figure 53 : Convertible Bell V22 Osprey	142
Figure 54 : Nuage de poussière soulevé dans la zone d'atterrissage du V22	143
Figure 55 : RAH-66 Comanche	145
Figure 56 : Evolution du Business Case.....	146
Figure 57 : Agusta Westland AW 139	147
Figure 58 : Autogyres Fairey	149
Figure 59 : Ecureuils	151
Figure 60 : Simplification des boîtes de transmission.....	152
Figure 61 : Polyvalence de l'Ecureuil.....	153
Figure 62 : Comparaison des programmes.....	156
Figure 63 : Echelle de maturité technologique TRL	160
Figure 64 : Reformulation des règles de K. Eisenhardt	164
Figure 65 : Critères de différenciation des projets	173
Figure 66 : Type de projets d'innovation.....	174

Figure 67 : Servocommande	175
Figure 68 : Déroulement du projet "servo"	177
Figure 69 : Vérin série.....	178
Figure 70 : Analyse de la valeur.....	179
Figure 71 : Réglage du rotor	181
Figure 72 : intégration du faisceau électrique	183
Figure 73 : Schéma d'une transmission arrière classique.....	184
Figure 74 : contraintes géométriques	185
Figure 75 : Alternance des phases de convergence et divergence	190
Figure 76 : Critères d'évaluation des projets d'innovations.....	209
Figure 77 : Processus du département Innovation d'Eurocopter	210
Figure 78 : Répartition des coûts sur un EC155.....	211
Figure 79 : Décomposition d'un hélicoptère.....	212
Figure 80 : Types de valeur ajoutée	213
Figure 81 : Illustration du fonctionnement du département Innovation.....	216
Figure 82 : Schémas organisationnels.....	218
Figure 83 : Grandes étapes de la préparation d'un projet	223
Figure 84 : Représentation des actions sécuritaires	224
Figure 85 : Schématisation de l'organisation sécuritaire.....	226
Figure 86 : Exemples de drones	228
Figure 87 : Critères d'intérêts de la robotisation.....	229
Figure 88 : Principe de fonctionnement de l'invention	230
Figure 89 : Pistes de robotisation d'hélicoptères	231
Figure 90 : Illustrations de missions	232
Figure 91 : Affiche	242

Liste des annexes

Pagination du second volume

Table des matières.....	3
Liste des figures	4
Annexe 1 Repères stratégiques	6
Introduction à la stratégie.....	7
A1.1 Méthode Porter (5+1 Forces).....	8
A1.2 Méthode PEST	10
A1.3 Diagnostic et Positionnement.....	12
A1.4 Méthode SWOT	13
A1.4 Méthode Mac KINSEY (7S).....	14
A1.6 Méthode BCG	15
Annexe 2 Sélection d'une piste d'innovation.....	17
2. Perspectives d'innovation : la Robotisation.....	18
Introduction.....	18
2.1 Robotisation	23
2.1.1 Avènement de la robotisation	23
2.1.2 Automatisation et autonomie.....	25
2.2 Robotisation dans l'aéronautique.....	28
2.2.1 Classification des drones.....	28
2.2.2 Confrontation Dornes – Hélicoptères	30
2.2.3 Collaboration Dornes – Hélicoptères.....	31
2.2.4 Etat de l'art.....	34
2.2.5 Concurrence	40
2.3 Opportunités.....	42
2.2.1 Faisabilité industrielle.....	42
2.2.2 Marché	45
2.2.3 Identification des freins.....	50
2.2.4 Contexte environnemental	53
Conclusion	57

Introduction

Contexte

Cette thèse, à vocation industrielle, a été proposée par la société Eurocopter. Son enjeu est la promotion des projets d'innovations dans cette grande entreprise de haute technologie. Elle a été souhaitée par le nouveau département dédié à l'innovation lors de sa création, dans le but de soutenir le déploiement de ses activités. Son sujet traduit le questionnement de ce département sur la pertinence de son approche: Que faut-il mettre en œuvre et comment pour soutenir « **L'innovation dans l'industrie hélicoptériste** »

Eurocopter est un des leaders mondiaux des constructeurs d'hélicoptères, qui réalise plus de la moitié des ventes d'hélicoptères civils. Dans un contexte de compétition exacerbée par la crise financière mondiale, Eurocopter a identifié l'innovation technologique comme facteur clé pour assurer son existence et accroître sa position sur le marché. Elle traduit la volonté de cet industriel d'adapter ses produits pour toujours satisfaire les demandes clients en constante évolution. En 2006, un département dédié à l'innovation a été créé dans le but de la favoriser. Sa mission est de sélectionner et de transformer des idées innovantes en produits pour assurer à Eurocopter un succès commercial. Ses choix d'actions répondent à de nombreuses questions : Pourquoi certaines compagnies sont-elles innovantes et d'autres pas ? Comment distinguer des logiques de développement infructueuses de celles menant à la prospérité ? Pourquoi certaines innovations rencontrent un marché alors que d'autres sont des échecs commerciaux ? Quelles répercussions les innovations ont-elles sur la trajectoire des entreprises qui les créent ? La capacité à innover vient-elle de l'organisation, des ressources humaines ou d'outils méthodologiques appropriés ? L'objectif de la thèse est de les parcourir pour identifier une approche de l'innovation pertinente.

L'aventure hélicoptériste, commencée en 1907 lorsque Paul Cornu a réussi le premier vol, est devenue industrielle au sortir de la seconde guerre mondiale. Les hélicoptères présentent des originalités technologiques qui les différencient des autres produits mécaniques, y compris dans le secteur aéronautique. Les réponses aux interrogations précédentes sont ainsi modulées par la prise en compte de ces spécificités et des contraintes économiques du marché. Pour répondre efficacement au besoin de l'industriel, la thèse est ainsi amenée à questionner le sens même de la démarche d'innovation, visiter le contexte industriel et identifier des mécanismes de résistance aux changements.

Cette étude est une « thèse industrielle » en ce sens qu'elle a vocation à répondre à une problématique identifiée par un industriel, même si la construction d'un argumentaire suit une méthode académique. Elle s'inscrit dans le domaine de l'ingénierie de l'innovation. Elle est « transverse » en ce sens qu'elle ne vise pas à enrichir un domaine académique précis mais fait appel à des références issues de domaines variés. Elle parcourt des champs de recherches divers pour étayer son argumentation.

Cette thèse est conduite dans le cadre de l'école doctorale ED390. Débutée en juin 2008, elle est encadrée en co-tutelle entre le Professeur des Universités Georges DESCOMBES du Laboratoire de génie des procédés pour l'environnement, l'énergie et la santé (LGP2ES) EA21 du CNAM à Paris et le Maître de Conférences François MALBURET du Laboratoire LSIS des Arts et Métiers ParisTech à Aix-en-Provence. Elle est financée par la société Eurocopter par le biais de la société ARTS. Les modalités de fonctionnement prévoient une répartition de l'activité de 80% sur site de l'industriel et 20% dans les locaux des Arts et Métiers, ainsi que l'organisation ponctuelle de réunion au CNAM à Paris.

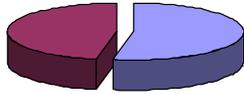
Chiffre d'affaire 20102 de 4,8 milliards d'euros Effectif : environ 18 000 Présent sur 5 continents Plus de 500 hélicoptères livrés annuellement 1 ^{er} employeur de la région PACA	
	53% de part du marché civil
	
Chiffres clés	8% du marché militaire

Figure 1 : Eurocopter en quelques chiffres

Problématiques

L'industriel souhaite soutenir l'activité du nouveau département innovation dont il vient de se doter. Il a fait appel à un partenaire, l'école doctorale, pour l'aider à répondre à son questionnement quand aux actions à déployer pour favoriser au mieux l'innovation. sa problématique, « que faut-il faire et comment ? » a été traduite académiquement pour lui répondre par « quelles considérations permettent de choisir les actions les plus favorables pour soutenir les démarches d'innovation ? ». Le premier travail a été la compréhension de son besoin pour formuler son attente en termes de résultats. Pour déterminer les moyens de favoriser l'innovation dans le contexte particulier d'une grande entreprise de haute technologie, il est nécessaire de définir au préalable le sens de l'innovation, comprendre sa perception et les marges d'action de ceux qui la mettent en œuvre.

- **Problématique industrielle** : Développement de la capacité à innover.

L'enjeu industriel est la compétitivité de l'entreprise. Elle est attendue pour être réalisée grâce à la mise sur le marché de nouveaux produits de ruptures technologiques, aptes à différencier l'entreprise de ses concurrents et à affirmer son avance et la supériorité de son offre. Pour favoriser l'émergence et la réussite de projets innovants, l'observation et l'analyse de l'avancement de plusieurs projets ont été complétés par l'examen des valeurs forgeant l'identité de l'entreprise. Une double approche, organisationnelle et humaine, se révèle indispensable car au-delà de la nature des projets innovants eux-mêmes, une évolution des attitudes est attendue. L'objectif pratique est de doter le département d'outils méthodologiques appropriés pour identifier les pistes d'innovation à investir, sélectionner des idées à réaliser et créer des conditions de mise en œuvre des projets améliorant leurs chances d'aboutir à un succès.

- **Problématique scientifique** : Approche de l'innovation dans une grande entreprise de haute technologie.

L'étude se propose de préciser l'expression de l'innovation dans le contexte industriel particulier. Cette thèse s'attache à la définir en termes pratiques plutôt que théoriques. Les mécanismes conditionnant le succès des projets, en particulier les mécanismes culturels de la diffusion d'une culture d'innovation sont observés. L'articulation entre les innovations technologiques, les trajectoires des entreprises qui les développent, et les hommes qui les

créent est examinée dans le contexte de l'industrie hélicoptériste afin de mettre en valeur les facteurs conditionnant l'innovation. L'objectif est de traduire l'innovation en termes d'action.

Organisation

Cette thèse est organisée en deux grandes parties. La première (chapitres 1, 2, 3) identifie les paramètres conditionnant l'innovation en dressant un état des lieux dans l'industrie hélicoptériste. La seconde construit une approche et applique les solutions en proposant un projet innovant (chapitres 4, 5, 6, 7).

- **Périmètre de l'étude**

L'étude est restreinte au niveau théorique puis pratique. Au niveau théorique, elle explore différents champs de recherche pour définir l'innovation, identifier ses sources et établir un état de l'art bibliographique (*Chapitre 1*). Au niveau pratique, elle précise le contexte industriel et des pistes actuelles d'innovation (*Chapitre 2*).

- **Méthodologie de recherche**

Après avoir identifié les variables induisant des orientations et contraintes de gestion particulières de l'innovation dans l'industrie hélicoptériste (*Chapitre 3*), une discussion est conduite pour déterminer une approche appropriée. Des projets réels sont présentés et analysés pour mettre en évidence des facteurs de succès ou d'échec. Des propositions d'améliorations sont ensuite soumises. Elles sont confrontées aux apports de la littérature pour être enrichies, avant d'être validée par les ingénieurs seniors ayant commandé cette étude. La discussion est organisée selon trois approches:

- selon une approche macroscopique, pour étudier l'innovation relativement au marché et à la position de l'entreprise et de sa gamme commercialisée (*Chapitre 4*),
- selon une approche détaillée, au regard d'une unité de conception, (*Chapitre 5*)
- selon une approche organisationnelle : Pour critiquer les conditions d'opérationnalisation des ambitions innovantes selon le type de l'entreprise et son système de valeurs (*Chapitre 6*)

- **Application**

Cette thèse a trois applications industrielles. Elle sert de support pédagogique en présentant des projets réels, des méthodes et des références bibliographiques utiles aux futurs

responsables de projets. Elle propose des outils de gestion du processus d'innovation (qui ont été expérimentés et mis en œuvre dans l'industrie), et propose enfin un projet d'innovation (qui a donné lieu à un dépôt de brevet).

Plan de la thèse

Afin de définir une approche pertinente de l'innovation, satisfaisant ainsi à la question posée par l'industriel « Que faut-il faire et comment ? », l'étude a été organisée en sept parties. Chacune d'elles explore un aspect particulier de l'innovation ou de son contexte. Les différentes conclusions présentent les arguments justifiant la réponse apportée en conclusion.

Partie I : Identification des problématiques

- **Chapitre 1 : Définition de l'innovation** (périmètre théorique)

L'objectif de ce chapitre est de préciser le travail à fournir par l'étude. Les larges champs d'investigations sont restreints par la définition du périmètre de l'étude. Une exploration bibliographique est conduite en fonction des objectifs de la thèse dans le but de préciser ce que recouvre l'innovation et ce qu'elle ne recouvre pas.

Conclusion Définition du périmètre théorique (Angle sous lequel aborder la question)

- **Chapitre 2 : Contexte concurrentiel de l'industrie hélicoptériste** (périmètre pratique)

L'objectif du chapitre est de préciser le contexte dans lequel la compétition se déroule. Les différents industriels du secteur d'activités et leurs gammes de produits sont présentés, ainsi que les pistes d'évolutions technologiques qui s'offrent actuellement à eux. Les décisions d'entreprendre, en particulier celles d'innover, répondent au questionnement sur la position de l'entreprise face à la concurrence, notamment en terme de différenciation de l'offre. Connaître le contexte est un préalable indispensable à l'élaboration d'une stratégie d'innovation.

Conclusion Définition du périmètre industriel (Terrain et armes de la compétition)

- **Chapitre 3 : Spécificités de l'industrie hélicoptériste** (identification des paramètres)

L'objectif de ce chapitre est de caractériser l'industrie hélicoptériste pour comprendre les contraintes qui conditionnent les projets d'innovations. La description de l'activité met en

lumière les limitations de natures diverses. Technologiquement, l'activité industrielle est soumise au respect de normes sécuritaires très exigeantes. De plus, les spécificités des produits limitent les approvisionnements sur étagère et restreignent le nombre de fournisseurs potentiels. Commercialement, l'activité est limitée par le faible volume de vente, dû au prix élevé des appareils. Le faible nombre de compétiteurs et les nombreuses situations de monopoles en sont en parties responsables. Politiquement, l'activité se développe dans des conditions de concurrence faussées. L'usage militaire des produits incitent en effet les gouvernements à soutenir financièrement leur industrie nationale de défense.

Conclusion : Définition des variables (contraintes orientant les décisions et les actions)

Partie II : Etude - Constats- analyse - discussion

- **Chapitre 4 : Etudes des grands programmes d'hélicoptères** (approche macroscopique)

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les conditions favorables dans lesquelles développer de nouveaux hélicoptères pour optimiser leurs chances de succès commerciaux. L'examen de grands programmes hélicoptéristes met en évidence des facteurs à l'origine de dérives temporelles, budgétaires ou liées à la performance. L'évaluation de maturité technologique et la maîtrise de la complexité des programmes sont ainsi amenés à être discutés. Cependant le rôle déterminant la réussite ou l'échec est attribué à la gouvernance des programmes.

Conclusion: Conditions favorables de succès (Priorité des objectifs et alignement des actions)

- **Chapitre 5 : Etude des projets d'innovations** (approche détaillée)

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les conditions favorables dans lesquelles développer de nouveaux composants d'hélicoptères pour optimiser leurs chances de succès commerciaux. Les directions stratégiques ne sont plus des objectifs mais des données à intégrer par les projets. Le retour d'expérience de projets suivis au quotidien durant l'étude met en évidence une tendance à la complexification technologique. La gestion des crises, les procédures d'achats et les méthodes de sélection de partenaires apparaissent comme outils méthodologiques clés dans la conduite des projets.

Conclusion : Conditions favorables de succès (Réactivité et acceptation des échecs et risques)

- **Chapitre 6 : Etude organisationnelle et structurelle** (Processus d'innovation)

L'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les freins ou les atouts induits par l'organisation de l'entreprise ou par les individus participant à des projets d'innovation.

Le process de gestion des projets innovants et le mode de structure qui l'héberge n'est pas sans influence. Les questions d'externalisation (répartition de l'activité avec des partenaires) et d'internationalisation (localisation géographique des sites et marchés à cibler par l'entreprise) sont explorées pour répondre aux situations paradoxales rencontrées dans les projets d'innovation, en particulier celles liées aux conditions de confidentialité et de veille technologique. Le profil des innovateurs est caractérisé à partir d'une étude statistique dans le but de les identifier et de les accompagner. Les mécanismes de résistance aux changements sont analysés. L'avantage que procurerait le recours aux séniors pour favoriser le transfert de connaissances et par là même l'innovation est mise en lumière.

Conclusion : Conditions favorables de mise en œuvre des innovations (Valeurs et culture)

- **Chapitre 7 : Propositions** (application)

L'objectif de ce chapitre est de sélectionner et justifier la piste d'innovation à suivre pour répondre à la question de l'industriel « que faire ? » et de proposer des projets pour répondre en conséquence à la seconde partie de sa question : « comment ? ».

Conclusion : Propositions (Actions à mettre en œuvre et identification de projets)

Première partie
Identification des problématiques

1. Périmètre de l'étude

Introduction

L'innovation est devenue une préoccupation constante cette dernière décennie. Les secteurs industriels et les institutions publiques sont tous concernés et l'industrie aéronautique n'y échappe pas. Les surenchères actuelles du vocabulaire publicitaire peuvent sembler n'être que l'habillage médiatique contemporain d'une activité qui a toujours existé. L'école des arts et métiers se présente comme « créateur d'innovation » [ART 10] et les militaires n'hésitent pas à qualifier de « renouveau de l'innovation organisationnelle » une simple disposition tactique nouvelle [BEN 06]. Ces redondances traduisent pourtant un phénomène économique plus profond. Si aujourd'hui les industries communiquent autant sur leurs efforts innovants pour crédibiliser leurs investissements, c'est qu'une révolution s'est produite.

		
UMPC	SNCF	Site Arts& métiers

Figure 2 : Vocabulaire de l'innovation

La mondialisation a bouleversé les rapports de puissance entre pays. Elle contraint les industriels occidentaux à accélérer leur rythme d'évolution pour conserver leur avance sur les pays émergents qui maîtrisent désormais leurs technologies. D'un affrontement direct, la compétition industrielle est devenue une course contre la montre. Au sortir de la seconde guerre mondiale, l'avance technologique occidentale protégeait les industriels occidentaux de leurs concurrents asiatiques. Quelques décennies plus tard ils se devaient d'afficher la qualité et les performances de leurs produits pour contrer les arguments de faibles coûts de leurs concurrents. Aujourd'hui tous les rivaux disposent d'armes industrielles et commerciales de puissances comparables. La capacité d'innover devient primordiale, pour conquérir le marché

avant les autres concurrents. La préoccupation industrielle est ainsi non pas simplement d'innover, mais plutôt d'innover en premier.

La capacité à innover est identifiée comme gage de performance par les entreprises, garantie de compétitivité et pérennisation de son activité. Mais paradoxalement, devancer les attentes du marché et proposer en premier des innovations n'est pas gage de réussite économique. Non seulement beaucoup de start-up ne connaissent pas le succès mais certaines disparaissent. La notion de risque se lie intimement à celle d'innovation. Au-delà de la nouveauté, c'est la capacité de séduction du marché qui est recherchée. L'innovation convoitée par les industriels apparaît ainsi comme une compétence stratégique.

Cette thèse a été commandée par l'industriel Eurocopter pour soutenir l'action du département dédié à l'innovation en phase de création. Elle a pour objectif de répondre au questionnement de l'industriel « Que faut-il faire, et comment, pour développer l'innovation? ». Le recul académique l'aide à préciser ce qu'il recherche dans le concept d'innovation, pour mieux entrevoir les orientations à suivre pour concrétiser ses ambitions.

La finalité industrielle étant de prospérer financièrement, les innovations se doivent de rencontrer un marché. La perception de l'innovation est ainsi fondamentalement subordonnée à la vision du futur. Le caractère stratégique de l'activité innovante étend les démarches au-delà des interrogations technologiques, et incite à explorer les apports de vastes champs académiques économiques ou organisationnels. Les paragraphes suivants se proposent de les parcourir afin de dégager un axe d'étude approprié pour répondre à la préoccupation de l'industriel.

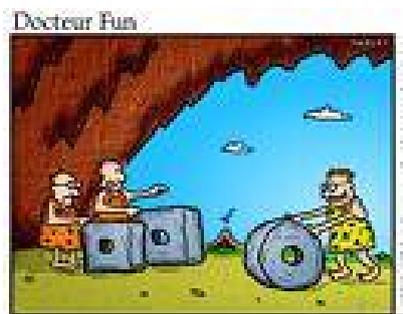


Figure 3 : L'innovation ? Elle est aussi ancienne que la roue

1.1 Etat de l'art

Véritable tendance sociétale, la littérature sur l'innovation s'est considérablement enrichie ces dernières années. Les publications ont envahi tous les domaines scientifiques. Elles sont tellement nombreuses que l'innovation peut même être considérée comme une nouvelle discipline de recherche. Ce paragraphe expose les thématiques fréquemment rencontrées.

- **Diversité des champs de recherches**

Identifiée comme essentielle pour maintenir les avantages concurrentiels d'une entreprise et pérenniser ses profits, l'innovation est en premier lieu étudiée par les sciences économiques. La stratégie s'y intéresse essentiellement pour des analyses de positionnement sur le marché [PRI 07], la finance au travers de méthodes d'évaluation de son impact [VER 09] et la gestion au travers de processus de maîtrise des risques [RAY 06]. La radicalité des changements dans l'approche de la concurrence et dans les modes de fonctionnement propres à l'innovation justifient la rédaction d'ouvrages spécifiques. En conséquence, les sciences organisationnelles abordent l'innovation en élaborant de nouvelles pratiques de gestion des projets [ROM 02]. Elles tentent également d'anticiper et d'optimiser les évolutions amenées par les innovations en dégagant des corrélations entre des structures d'entreprises et leurs aptitudes à générer de nouveaux produits, en remarquant que c'est à travers une organisation appropriée que la créativité a le plus de chances de s'exprimer [GET 00]. Enfin, une partie de la littérature envisage l'innovation sous l'angle des partenariats, afin de déceler des critères de réussite d'alliances et d'élaborer des stratégies gagnantes [MUL 07]. La problématique de gestion des réseaux économiques se révèle être fondamentale tant les innovations nécessitent d'être portées par des ensembles de partenaires hétérogènes (industriels, académiques, gouvernementaux...). Les sciences juridiques sont invitées à proposer des solutions particulières aux projets d'innovation pour garantir le respect des engagements. Ces projets se distinguent des affaires ordinaires par leurs caractères stratégiquement sensibles, leurs contraintes de confidentialité, l'incertitude de leur planification, et l'incomplétude consécutive des contrats. [FRE 02]

L'innovation est étudiée en second lieu par les sciences sociales. La compréhension du taux élevé des échecs de coopérations, des résistances aux changements opérationnels et des critères d'adoption de la société au sens large pour introduire profitablement les innovations

sur les marchés sont les principales thématiques abordées [MOT 97]. Si Schumpeter remarquait dès les années 30 avec succès le rôle central des entrepreneurs dans le succès des projets d'innovation [SCH 26], l'innovation solitaire reste un mythe. Une entreprise innovante est avant tout coopérante [JOL 95]. La sociologie s'intéresse à l'innovation au travers des connexions entre les entreprises et leur environnement. Les travaux ont principalement pour objectifs de faciliter les négociations entre partenaires [MUS 95], et de coordonner différents acteurs pour la rendre indépendante de l'inspiration de quelques hommes providentiels [AKR 88]. Elle explique également le succès ou l'échec d'innovations en abordant le rôle de la culture et l'influence déterminante d'individus dans la trajectoire de projets collectifs [Stakeholder], en particulier de par les relations d'autorité qu'ils imposent. La psychologie approche l'innovation sous les angles de la dynamique des groupes et du développement personnel. Elle aborde en particulier la notion de déviance en remarquant que les innovations sont souvent liées à des enfreintes de l'ordre [ALT 95]. La littérature propose de nombreuses méthodes de créativité et d'animation d'équipes aptes à favoriser l'émergence et la maturation d'idées innovantes. Enfin les sciences de l'éducation abordent l'innovation à travers la gestion des transferts de connaissances et des capacités d'apprentissage des entreprises [GAF 90]. Les problématiques des entreprises innovantes ne sont pas particulières mais les phénomènes sont plus marqués de par le caractère sensible des projets.

L'innovation est enfin étudiée par les sciences techniques. Elles s'intéressent aux méthodes à mettre en œuvre pour favoriser l'innovation dans les entreprises. Deux grandes catégories de publications se distinguent : celles qui visent directement les processus de conception et celles qui sont relatives à leur gestion. Les premières regroupent des méthodes visant à structurer la conception [PER 01]. Les plus célèbres d'entre elles sont la méthode de résolution de problème de conception TRIZ, développée par le russe G. Altshuller [MEY 07] et les conseils de préparation de brainstorming de l'américain T. Kelley [KEY 04]. Les secondes s'attachent à améliorer les dispositifs de pilotage de l'innovation en s'intéressant à l'insertion de cette activité dans une entreprise ou encore à la mesure de la performance des processus mis en place [BOL 04].

L'innovation est en fait souvent étudiée de manière transverse au travers d'analyses pluridisciplinaires. Parmi les publications beaucoup ont pour objet la caractérisation de l'innovation au travers de classification ou établissement de critères de mesure de l'activité innovante [ABE 85], [BOO 82]. Actuellement, deux principales tendances de recherche se dégagent. L'une vise à unifier les champs de recherche ayant l'innovation pour objet [VIN

05]. L'autre vise à intégrer dans une démarche globale les différents acquis [HAN 99] bien que les publications soient hétérogènes dans leur nature comme dans leurs objectifs. D'un côté des chercheurs se basent sur la théorie des systèmes complexes pour modéliser des facteurs de natures différentes (environnementales, humaines, structurelles, organisationnelles, techniques, économiques...) D'un autre côté, de nombreux travaux ont pour objet l'introduction de la notion de cycle de vie des produits pour traiter les problématiques d'innovations, en particulier celles à visées environnementales.

- **Critique de la littérature sur l'innovation**

Les publications ne revêtent pas toutes le même intérêt pratique. L'innovation n'est pas reconnue comme une discipline à part entière, bien que des unités d'enseignement lui soient désormais de plus en plus souvent consacrées. La conception technique relève toujours des enseignements traditionnels.

L'innovation peine à s'imposer en tant que discipline essentiellement à cause de la confusion qui règne quant à la pertinence des avancées apportées par les chercheurs, les contributions semblant en effet souvent contradictoires. Par exemple certains auteurs pensent que l'innovation a un effet bénéfique sur les performances financières de l'entreprise en améliorant les produits, tandis que d'autres affirment au contraire qu'elle a un effet néfaste en pénalisant son process ; ou encore, certains auteurs pensent que des structures d'entreprise dédiées à l'innovation (Skunk Work) la favorise, d'autres pas... Les divergences d'opinion sont suffisamment fréquentes pour motiver des recherches en vue d'une formulation cohérente des résultats [VIN 05]. Plusieurs raisons sont à l'origine des divergences d'opinions entre auteurs, sources de confusions pour les lecteurs:

- Il n'existe pas ni définition ni typologie standard de l'innovation. Certains auteurs limitent le domaine des innovations aux nouveautés ayant provoqué une rupture quand d'autres y incluent les améliorations continues. Certains auteurs se limitent à étudier les produits, quand d'autres incluent les changements de process ou de méthodes... Dès lors que l'objet des analyses diffère, il n'est pas étonnant que les conclusions semblent incohérentes.
- Il n'existe pas d'outils de mesure standard de l'innovation. Certains auteurs se réfèrent au nombre d'innovations réalisées, d'autres à la hauteur des ressources mobilisées, ou encore

- Les approches de l'innovation sont fragmentaires : dans l'impossibilité d'intégrer l'ensemble des variables influençant les activités innovantes, chaque auteur n'en retient qu'un jeu partiel et aborde l'innovation selon un angle qui lui est propre. Il n'est dès lors plus possible de dégager un consensus sur l'influence d'une variable particulière.

De plus, même quand les conclusions des travaux sur l'innovation semblent converger, elles demeurent peu exploitables. Par exemple, quand des auteurs trouvent qu'« en période de grandes incertitudes les compagnies sont plus enclines à innover » [KAH 79], la question reste ouverte de savoir comment. Dans l'abondance des ouvrages, aucun consensus, ni piste d'action ne se dégage : le parcours de la littérature n'offre en aucun cas des apports théoriques prêts à être exploités industriellement. Il questionne le lecteur sur son environnement et lui présente des points de vues variés pour lui permettre de construire et d'enrichir sa propre idée.

- **Conclusion de l'état de l'art**

Derrière la question de l'industriel « Que faut-il faire pour innover, et comment ? » la problématique de l'opérationnalisation des résultats des recherches se dissimule. Il ne s'agit pas de compléter une théorie déjà établie en travaillant sur son adaptation dans un environnement industriel particulier, mais de construire une approche de la notion d'innovation pertinente dans le cas de l'industriel en relevant dans la littérature des résultats utiles.

1.2 Périmètre théorique

L'innovation est une notion abordée dans divers champs de recherche. L'abondance des publications imposent de limiter le périmètre d'étude. L'absence de standardisation dans le formalisme impose de préciser les termes retenus dans cette étude. Par ailleurs, le manque de résultats directement opérables contraint à définir un axe de recherche adapté à l'industriel plutôt qu'à s'inscrire dans un courant théorique établi. Les champs de recherche sont limités en fonction de l'utilité des informations pour traduire les résultats de cette étude en termes d'actions. Ce paragraphe a conséquemment pour objectif de définir ce qu'est l'innovation et ce qu'elle n'est pas.

L'impossibilité pratique de parcourir l'ensemble de ces vastes champs a induit une nécessité de précision du périmètre de leur exploration. La thèse ayant une finalité industrielle pratique, elle sélectionne dans chacun des outils et méthodes pour répondre au mieux à la problématique initiale « Que faut-il faire, et comment, pour développer l'innovation? ». Elle adapte les résultats acquis dans diverses disciplines académiques et ne cherche pas à proposer de nouveaux outils théoriques. Les paragraphes suivants présentent les démarches conduites dans différents champs de recherche.

L'étude a été dirigée dans le domaine économique essentiellement autour de notions de stratégie, pour saisir les facteurs sensibles contraignant les innovations, de notions d'évaluation financière, dans un but de leurs caractérisations pratiques, et de notions de gestion des risques, pour appréhender l'incontournable incertitude des projets innovants. Dans le domaine des sciences humaines, les champs parcourus ont essentiellement été ceux de la psychologie et de la sociologie. Dans le champ des sciences de l'ingénieur, l'étude a nécessité de tenir compte des sciences techniques (matériaux, mécaniques...) et des méthodes d'accompagnement comme la gestion de projet.

1.2.1 Définitions de l'innovation

Si l'innovation est toujours associée à une nouveauté, le terme traduit selon les auteurs des approches diverses. Sans être antinomiques, elles impliquent cependant des choix d'ingénieries différentes. Les logiques de développement qui en découlent encouragent des comportements favorisant chacun l'émergence d'innovations différentes, et orientent les entreprises selon des trajectoires variées.

D'un point de vue économique, une innovation est « une invention qui rencontre un marché » [CUN 91]. Elle est l'industrialisation réussie d'une découverte technique. Dans cette optique, la compréhension des besoins clients, le marketing et le positionnement face à la concurrence sont primordiaux.

D'un point de vue opératoire, une innovation est « une transformation d'une idée en objet nouveau » [AFN 91]. Le contrôle de la qualité et la capitalisation des retours d'expérience sont les facteurs clés de la réussite car ils améliorent un processus opérationnel.

D'un point de vue systémiste, une innovation est « une insertion parfaite d'un projet dans son environnement » [MEL 79]. Elle est une opportunité investie. L'évaluation des risques est décisive car elle permet de lire l'environnement pour distinguer les situations à fort potentiel.

D'un point de vue cognitif, une innovation est « une capacité à transgresser les règles » [BUR 02]. Elle est une rupture des modes de raisonnement et de production. La variété des représentations mentales et la capacité à surmonter l'incertitude sont déterminantes puisqu'innover revient alors à penser différemment (« out of the box thinking »).

D'un point de vue « biologique » (au sens évolution des espèces), une innovation est une « activité économique qui a su s'adapter » [CHA 09]. Elle est une réponse à une rupture d'équilibre du système industriel. Dans cette perspective, la réactivité des équipes et les motivations sont essentielles.

D'un point de vue sociologique, une innovation est « une évolution des modes d'organisations ou des jeux de pouvoir » [PAR 95]. Elle est un processus social générateur d'inter-relations informelles. La gestion de l'information et la répartition des responsabilités jouent un rôle prépondérant.

D'un point de vue technologique, une innovation est « une transformation des savoirs en activité industrielle » [AIT 06]. La cohérence des activités, la logique de leur enchaînement et l'alignement des objectifs sont les clés du succès.

Si toutes ces dimensions doivent être intégrées dans le pilotage de l'entreprise, l'approche retenue pour l'hélicoptériste est économique et opératoire. En effet le faible volume de ventes, pénalisées par les coûts prohibitifs des appareils, est la problématique centrale de l'industriel. Les questions relatives à la formation du personnel, à la gestion des transferts de connaissances ou d'organisation, bien que présentes, n'ont pas été identifiées dominantes. Les

contraintes de réduction des coûts ont par contre été évoquées dans tous les projets innovants, y compris ceux qu'elles n'avaient pas directement motivés. Que les ambitions initiales aient été commerciales (prise d'un marché, fin de monopole, révision des termes d'un contrat...), intellectuelle (acquisition de savoir faire, protection par dépôt de titre de propriété intellectuelle...), ou fonctionnelle (amélioration des performances, ajout de fonctions...), les objectifs de réduction de coût se sont révélés être déterminants quant aux décisions d'engagement ou d'arrêts des innovations.

L'innovation est un procédé de transformation d'idées en produits créant une valeur ajoutée à apporter à ses clients

Tableau 1 : Définition retenue de l'innovation

Par ailleurs, la littérature différencie les innovations et propose plusieurs classifications, fondées par exemple sur l'objectif qui les a motivés ou encore la nature des changements qu'elles impliquent [BOO 82]. S'il n'existe aucune norme, certaines distinctions sont cependant internationalement adoptées. Les qualifications usuelles [ABE 85] « architecturale », « de niche », « courante » et « révolutionnaire » distinguant diverses approches de la concurrence ou encore « push » « pull » distinguant l'orientation stratégique des innovations n'ont pas été utilisées, aucun projet innovant suivi pendant les trois années de thèse ne l'ayant exigé. Trois types de qualification des innovations se sont révélées être suffisantes. Elles sont basées sur la distinction de :

- *L'intensité des changements* apportés par les innovations : elles sont qualifiées de « radicale » ou « de rupture » par opposition à « incrémentale » selon que les consommateurs les perçoivent comme des nouveautés ou comme des améliorations de l'existant.
- *La nature des travaux à réaliser* : elles sont dites « de produit » « de process » ou « organisationnelles »
- *La maturité des technologies* impliquées : les innovations sont regroupées en trois catégories selon qu'elles existent déjà dans l'entreprise, qu'elle n'y existe pas mais se rencontre dans d'autres du même secteur industriel, ou n'existent ni dans l'entreprise, ni aucune autre du même secteur.

Ayant une finalité pratique pour l'industriel qui l'a commandé, le vocabulaire classique s'est avéré suffisant et la recherche de classements plus appropriés à l'activité particulière

concernée n'a pas été nécessaire. Cependant, les travaux ont fait apparaître l'utilité d'un nouveau paramètre : « le degré d'alignement sur la stratégie de l'entreprise », mesurant l'écart entre l'objectif visé par une innovation et l'objectif annoncé de l'entreprise dans son plan de développement.

Le degré d'alignement sur la stratégie est parfois évoqué dans la littérature. Il est souvent évoqué pour décrire le contexte dans lequel une innovation est réalisée, sans donner naissance à une classification proprement dite. En effet son évaluation est relative. Elle varie par exemple en fonction de la perception du plan de développement des individus qui la conduise, en fonction de leur connaissance des ambitions de leur entreprise, ou encore de leur intérêt à le comprendre. En fait l'évaluation subjective de ce paramètre rend son utilisation délicate.

A l'intérieur d'un groupe suffisamment restreint pour estimer que les perceptions sont identiques, le paramètre d'alignement sur la stratégie permet cependant d'expliquer les trajectoires diverses des projets (voir chapitre 4 et 5), raison pour laquelle cette étude le retient. Il sera désigné « faible » si l'innovation sort des prévisions d'investissement de l'entreprise, « cohérent » si l'innovation s'inscrit dans une démarche conduite par l'entreprise ou « forte » si l'innovation est la matérialisation d'une ambition exprimée par les dirigeants

Caractère	Critères
Nature	de produit / de process / organisationnelle
Intensité	radicale ou de rupture / incrémentale ou d'amélioration continue
Maturité technologique	acquise / existante / de re-engineering
Alignement stratégique	faible / cohérent / fort

Tableau 2 : Caractérisation retenue de l'innovation

1.2.2 Limitations du périmètre en sciences économiques

- **Notions stratégiques**

La question de l'industriel ayant motivé cette étude étant « Que faire pour innover ? », est par essence stratégique. Cette thèse n'a pas pour vocation de construire de nouvelles approches stratégiques à proprement parler, mais de repérer et d'intégrer des approches existantes appropriées pour soutenir l'activité innovante dans le contexte particulier de l'industriel. . Le

repérage des courants de pensées et l'acquisition des méthodes fondamentales s'avèrent en effet suffisants pour justifier à l'industriel une piste d'innovation sans consommer le temps nécessaire aux investigations d'autres natures, financières ou organisationnelles par exemple, moins centrales mais tout aussi indispensables.

En synthèse, la notion de stratégie est apparue dans le vocabulaire de l'entreprise au sortir de la seconde guerre mondiale, alors que la reconstruction industrielle était l'enjeu politique majeur. Il existe des définitions variées mais de manière générale, la stratégie est l'art de déterminer ce qu'une entreprise doit faire pour devenir ce qu'elle veut être. Elle a pour objectif de renseigner l'entreprise sur son environnement (tous les acteurs présent même indirectement sur son marché) de délimiter son périmètre (son offre et la logique d'allocation de ses ressources pour la créer), d'identifier ses avantages compétitifs, et enfin d'organiser le déploiement de ses actions. Elle se décline à plusieurs niveaux (général, concurrentiel et opérationnel) et sert de référence pour harmoniser les intentions des différents échelons hiérarchiques (directoire, sectoriel et individuel), la cohérence entre chacun étant déterminante pour l'aboutissement des projets

Si la stratégie est une préoccupation quasi universelle, il n'existe pas de procédés infallibles garantissant le succès. La littérature actuelle préfère ainsi parler d'approches stratégiques plutôt que de méthodes. Ces approches théoriques sont différenciées selon qu'elles se basent sur un modèle d'action construit dans le passé (positionnement) ou sur l'anticipation des besoins des clients (perspective). Les études se concentrent sur l'environnement concurrentiel ou sur l'identification de tendances émergentes. Par exemple une stratégie peut consister à cibler le marché « haut de gamme », une autre à afficher des bilans carbone écologiques. En fait les approches réelles des industriels sont souvent métissées. D'une part les entreprises ont besoin d'assurer une continuité de leurs engagements tout en s'adaptant aux changements, d'autres part les approches ne s'excluent nullement l'une l'autre. Le foisonnement et la mixité des approches sont tels qu'il n'existe pas de classification au sens strict, tout au plus des qualifications pour les repérer. Généralement les termes Vision, Planification, Prise de risque ou Apprentissage sont usités en place d'approche pour traduire les influences diverses des intentions de recherche [MIN 09].

Succinctement, le parcours de l'abondante littérature a conduit à répartir les approches en trois groupes, selon leur objectif : cerner l'environnement et connaître la concurrence, diagnostiquer les atouts de l'entreprise, ou évaluer l'intérêt d'une activité.

Le premier groupe d'approches a pour but d'analyser la concurrence [POR 08]. Ces approches visent à comprendre les jeux conditionnant le contexte concurrentiel et à repérer les « tendances lourdes », ou changements durables de comportements des acteurs de la compétition, induites par les faits d'actualités.

Un second groupe d'approches s'attache à diagnostiquer l'entreprise et la positionner sur son marché [WEI 82], [MCK 72]. L'objectif du diagnostic est de dégager les activités profitables et celles qui ne sont pas suffisamment maîtrisées. L'objectif du positionnement est d'évaluer les chances de succès d'une entreprise par rapport à celles de ses concurrents. Les approches visent ainsi à déterminer les possibilités d'action d'une entreprise, en faisant état d'un côté des compétences ou manque de compétences de l'entreprise et établissant de l'autre côté des critères conditionnant le succès ou l'échec d'un produit.

Un troisième groupe de méthodes aide à prioriser les activités à l'intérieur d'une même entreprise [HEN 79], pour répartir aux mieux les capitaux. La plus célèbre des approches est celle de Bruce Henderson, fondateur du Boston Consulting Group (BCG). Présentant visuellement les raisons des changements à mettre en œuvre, elle est rassurante par sa simplicité mais peu utile au commun des innovateurs qui n'ont pas accès aux informations des mouvements financiers. Cette thèse a retenu que la réussite d'une entreprise tient à l'équilibre entre ses trésoreries pour disposer de capacités d'autofinancement suffisantes aux moments opportuns. Elle n'est pas entrée dans le détail de ces approches n'ayant pas de données conséquentes à manipuler

Les travaux dans les champs stratégiques se sont limités au parcours et à l'analyse de la littérature, sans chercher à construire d'approches particulières, seulement à sélectionner des outils en vue de justifier des pistes d'innovations. Les travaux de Mintzberg [MIN 07] ont fourni un éclairage précieux pour repérer les lectures dans un vaste champ.

Intentions de recherche	Marché cible	Tendances
Positionnement	Planification	Prise de risque
Perspective	Vision	Apprentissage

Figure 4 : Quatre approches fondamentales de la stratégie

- **Notions d'évaluations financières**

La motivation première de l'activité industrielle étant le profit financier, il est indispensable de savoir évaluer les bénéfices pécuniaires qu'une entreprise peut espérer d'une innovation. Les apports théoriques ont pour but de soutenir la réflexion en quantifiant les intérêts d'une activité innovante. Cette thèse n'a pas pour objet les méthodes d'évaluations en elles-mêmes. Elle parcourt la littérature simplement pour mettre en relief les points essentiels à dégager pour évaluer la viabilité économique d'un projet. L'objectif est de retenir une palette d'outils appropriés à l'évaluation financière pratique des projets innovants, sans chercher à élaborer de théorie spécifique.

Il existe de nombreux modèles économiques et financiers pour décrire la situation d'une entreprise [CHI 05]. Les calculs de prévisions de gains sont toujours basés sur la taille des marchés et l'échelonnement des investissements dans le temps, mais diffèrent par la précision des paramètres retenus. Par exemple, le taux d'inflation, la variation des taux de changes, la précision des échéanciers peuvent être pris en compte ou pas.

Pour les besoins de l'étude le parcours de la littérature a conduit à répartir les méthodes d'évaluations en trois groupes, selon leur objectif : mesurer l'écart entre deux états, la rentabilité dans le temps et la justesse des prévisions. Pour évaluer l'intérêt de lancer un projet d'innovation, la thèse propose de retenir une méthode dans chacune de ces trois catégories, la précision des données de calcul dépendant de la maturité du projet à évaluer.

Le premier groupe de méthodes établit des bilans pour comparer des situations réelles ou possibles dans lesquelles pourraient se trouver une entreprise. Par exemple, les méthodes de calculs dites « business case » se fondent sur la comparaison des bilans de l'entreprise avant et après commercialisation d'une innovation. Les bilans prévisionnels dépendant des hypothèses de calculs (nombre de clients, coûts des matières premières...), l'évaluation des gains potentiels par rapport aux efforts consentis varie selon leur pertinence.

Le second groupe de méthode pondère les résultats prévisionnels en fonction de l'échéancier des projets. C'est le cas par exemple des indicateurs mesurant le temps de retour sur investissement (TRI ou IRR) et la valeur actualisée nette (VAN ou NPV) qui corrigent respectivement les estimations des dépenses et des gains d'un projet en intégrant les taux d'intérêts dans la prise en compte de leur répartition dans le temps.

Le troisième groupe de méthodes traduit les performances de génération de valeur d'un projet. Les tendances de dérives comptables sont estimées par rapport aux prévisions, pour anticiper des changements dans la planification. Par exemple, la méthode « gestion de la valeur acquise » créée dans les années 60 par l'armée américaine pour piloter ses grands programmes (Earned Value Management ou EVM) [FLE 10] distingue plusieurs éléments de coûts (la valeur du travail prévu, de celui accompli à terme, et les dépenses réelles) pour les traduire en terme d'avance temporelle d'un projet et de rentabilité de la valeur qu'il a créée.

Des méthodes judicieuses pour soutenir l'activité innovante se sont imposées progressivement, au fur et à mesure que l'expérience de gestion des projets conduits à l'intérieur du département innovation permettait de saisir le degré de précision des modèles. Ces méthodes ont été directement importées ou adaptées. Le parcours de la littérature sur l'évaluation financière a essentiellement été conduit dans le but de trouver des outils et non d'en créer.

1.2.3 Limitation du périmètre en sciences humaines

- **Notions de gestion des organisations**

L'objectif des travaux réalisés dans ce domaine de recherche est d'orienter les actions individuelles vers une production bénéfique à la collectivité. Ils visent à comprendre les origines de la performance des organisations du travail dans les entreprises en vue d'améliorer leurs résultats. Les propositions peuvent être classées selon trois axes fondamentaux selon qu'elles visent à rationaliser la production [LEI 07], harmoniser les relations [MCG 74], ou améliorer l'interaction entre les hommes et leur environnement [THE 92]

Les premières se concentrent sur la répartition des tâches et la rationalisation de leur distribution en vue d'optimiser leur exécution. Considérant une entreprise comme un process, les problématiques centrales sont structurelles et méthodologiques.

Les secondes s'attachent à comprendre la motivation et les sources de satisfaction des employés pour améliorer la qualité du travail produit. Elles intègrent l'influence de l'affectivité et analysent les perceptions et comportements des individus pour expliquer leurs performances à travers leurs ambitions tant personnelles que pécuniaires [MAS 43],[HOL 94].

Les troisièmes, les plus nombreuses, sont réparties en plusieurs groupes, selon qu'elles abordent plutôt des notions d'économies générales ou de psychosociologie des organisations. Dans un cas les auteurs analysent les structures organisationnelles et les modes de coordination pour établir des liens entre leurs formes et leurs performances. Par exemple Coase étudie la question de l'allocation des ressources [COA 37] et Hart l'incomplétude des contrats [HAR 95] et Simon s'interroge sur la prise de décision [SIM 97]. Dans l'autre cas les auteurs fondent leurs travaux sur la modélisation de l'entreprise ou de ses acteurs. Par exemple M. Crozier [CRO 77] appréhende l'entreprise sous la forme d'un système complexe et ouvert dans lequel l'homme est un élément autonome. H. Simon introduit le concept de rationalité limitée pour expliquer les motivations qui ne sont plus seulement d'ordre économique ou affectif [SIM 58].

Dans cette littérature, le thème de l'innovation bien que non central a souvent été abordé et ce de manière constante. Le vocabulaire s'est modifié au cours du temps, traduisant l'évolution des préoccupations premières des époques. Par exemple Schumpeter [SCH 39] aborde le développement de « nouveaux produits » à travers l'entrepreneuriat et le rôle fondamental de la personnalité des entrepreneurs, E. Penrose étudie l'introduction de « nouvelles combinaisons de ressources » à travers les facteurs de croissance des entreprises [PEN 59], ou encore K. Clark analyse les « structures de conception » à travers les questions d'améliorations de la production [CLA 83]. Dans les années 80, les travaux de ce dernier sur la rentabilité des firmes automobiles japonaises ont contribué à propulser la notion d'innovation dans les préoccupations premières et ont largement contribué à l'émergence du phénomène de mode actuel. L'innovation n'étant pas le thème central de ces ouvrages, le parcours s'est souvent limité aux références des grands auteurs.

La thèse n'a pas vocation à s'inscrire à la suite de ces grands auteurs. Humblement, les nombreux ouvrages ont été consultés pour enrichir les réflexions et repérer des pistes d'évolutions possibles pour la société commanditaire de l'étude. L'industriel n'a pas souhaité investir trop en amont ce domaine, préférant se concentrer sur des activités quotidiennes pour espérer des résultats pratiques.

- **Notions de psychologie et sociologie**

Une vaste partie de la littérature en psychologie comme en sociologie est dédiée à l'entreprise et à l'étude des comportements qui s'y rencontrent. A des niveaux individuels ou collectifs les attributs du pouvoir [KET 91], l'influence du leadership [SCH 54], ou le rôle de la culture [IRI 89], sont analysés pour mieux anticiper les trajectoires d'évolution des organisations. Ces travaux généraux ont une résonance particulière dans le cadre de projets innovants. Leur caractère transgressif et l'état d'urgence dans lequel ils sont parfois conduit exacerbent les sensibilités et les réactions d'une part et de l'autre l'incertitude de leur aboutissement révèle des traits de caractères très personnels des innovateurs en aiguisant ambitions et craintes.

En psychologie, les principales références relatives à l'innovation peuvent être classées selon qu'elles ont pour objectif de directement promouvoir l'innovation ou d'expliquer les phénomènes d'acceptation ou de rejet qu'elle génère. Les premières sont orientées vers la recherche des origines de la créativité [BRA 07]. Se trouvent dans cette catégorie une multitude de références en vue du développement personnel et de la formation [FRA 04]. Les secondes analysent des résistances aux changements [LUE 03]. Certaines sont basées sur des apports psychanalytiques pour expliquer par exemple les inhibitions, le désintérêt ou sur l'adhésion à des idées objectivement irraisonnables par des blessures narcissiques [OLL 95]. D'autres enfin sont centrées sur l'entreprise et proposent plus pragmatiquement des méthodes d'accompagnement dans la gestion des ressources humaines [HOG 06].

En sociologie les principaux ouvrages relatifs à l'innovation l'abordent au travers des problématiques de dynamique de groupe [MOT 90] et d'identités culturelles [TRI 91]. Ils ont pour objectif d'optimiser les performances des entreprises en améliorant la fluidité des relations et la qualité de la communication. Le décryptage de cultures nationales, à travers les phénomènes d'anxiété au travail ou de perception de l'autorité hiérarchique, est par exemple intéressant à aborder dans une entreprise multinationale [HOF 09]. Pratiquement, de nombreux ouvrages proposent des actions en vue de faciliter la conduite des équipes ou renforcer leur cohésion dans le cadre particulier des projets innovants.

	Power Distance	35		Power Distance	68
	Individualism	67		Individualism	71
	Uncertainty Avoidance	65		Uncertainty Avoidance	86
	Masculinity	66		Masculinity	43

Figure 5 : G. Hofstede

Cette thèse n'a pas une vocation psychosociologique bien que les apports de cette littérature soient incontournables. En plaçant l'humain au centre de toute innovation, cette étude ne peut en faire abstraction. Elle s'appuie essentiellement sur des travaux d'ordre sociologique lié au rôle de la culture d'entreprise, en considérant qu'avant d'être la création d'un produit, le résultat d'un processus d'apprentissage ou d'une structure de conception bien agencée, innover est surtout un état d'esprit.

1.2.4 Limitation du périmètre en science de l'ingénieur

« L'innovation n'est pas le fruit du hasard mais la résultante d'un processus de production ». [PER 01]. Depuis la fin de la guerre froide, les modèles de conception ont évolué pour déplacer leur centre d'intérêt de la recherche fondamentale vers le marché. La suppression des financements des programmes de recherche a contraint les industriels à assurer des retours financiers sur leurs investissements. Sont alors développés de nouveaux modèles pour concevoir ou pour intégrer des facteurs économiques. Par exemple Clark Chew et Fujimoto constatant que les entreprises d'automobiles américaines sont moins performantes que leurs concurrentes japonaises révisent les approches de conception [CLA 87]. Des études sont orientées vers l'acceptabilité des produits, ou la compétitivité [DES 09]. Actuellement les principaux courants de recherche en compétition sont centrés sur la prise en compte de finalités environnementales et l'intégration d'outils numériques. Par exemple les nouveaux modèles de conception intègrent la notion de cycle de vie [PUG 91] ou offre des modules de simulations numériques

La mondialisation a également contribué à élargir la réflexion sur l'innovation, au travers de nouvelles problématiques de production induites par l'émergence de pays « Low Cost » ou les contraintes de transmission de connaissances. Elle a conduit par exemple à proposer de nouvelles méthodes d'apprentissage par l'usage [COU 00]. Dans le but de l'optimiser pour la rentabiliser, la notion de conception a été étendue à des notions de psychologies des organisations. Par exemple, des travaux opposant projets et métiers ont été conduits pour montrer comment les uns servaient à approfondir les autres et à intégrer les compétences acquises. [BAR 93].

L'innovation ayant une finalité économique, la part importante de la littérature est centrée sur la gestion de projet. De nombreux travaux abordent la notion de complexité [JAR 96] dans le but de faciliter leur suivis. D'autres proposent plus pragmatiquement des méthodes de suivis,

essentiellement construites autour des notions de coût, performance et délais [THE 06], ou des méthodes assurant leur qualité [PUJ 03].

La thèse n'a pas pour vocation de proposer de nouvelles méthodes de conception, même si leur introduction dans l'industrie hélicoptériste pourrait grandement contribuer à favoriser l'innovation. En effet, bien que de très haute technologie, l'industrie hélicoptériste reste artisanale. Les problématiques d'optimisation de la production sont secondaires, par exemple face à la gestion de situations monopolistiques. Les hélicoptéristes se retrouvent devancés par d'autres industriels, automobilistes par exemple, dans les performances des méthodes de conception. En revanche, cette thèse a pour ambition de compléter les connaissances en gestion de projets, en relevant des caractéristiques particulières et des moyens de les aborder, comme la valeur ajoutée ou la confidentialité.

1.2.5 Cas particulier de la notion de gestion des risques

La gestion des risques est une notion transverse à l'analyse financière au domaine psychologique et à l'activité technologique. Des ouvrages l'abordent dans l'ensemble des domaines de recherche précédemment présentés [MOU 11], [DID 01], [JOS 96]. Ils insistent tantôt sur des notions idéologiques, tantôt sur des traitements scientifiques. Leur appréhension est en effet révélatrice de culture et de valeurs : la notion de Risque se déclinant dans le langage ou bien positivement par Aventure, Chance, Hasard, Fortune, ou bien négativement par Péril, Danger, Errements, Illusions, Mais quelles que soient l'orientation des ouvrages, elle est toujours une consécration scientifique de « qui ne risque rien n'a rien ».

L'incertitude des projets rend la notion de risque omni présente dans les ouvrages dédiés à l'innovation. Il partage l'objectif de chercher à réduire cette incertitude en anticipant les aléas ou en améliorant le processus décisionnel conséquent. Si dans la théorie de la décision, le risque est une caractérisation de l'hypothèse de rationalité [PRA 06], l'anticipation dépend de la prédisposition idéologique et des méthodes de gestion sélectionnées.

Ces méthodes sont destinées soit à identifier le risque, soit à le mesurer. Les premières dépendent de la nature des risques supposés. Pour les risques technologiques, elles se présentent souvent sous la forme de check List basées sur l'observation de faits antérieurs.

Pour les risques économiques elles proposent des comparaisons entre plusieurs situations, selon diverses méthodes d'évaluations financières. Les secondes se fondent sur des théories mathématiques pour quantifier son intensité et la probabilité que le risque se réalise. Quand les économistes cherchent surtout des corrélations entre facteurs, les mathématiciens préfèrent définir des concepts : la théorie des jeux a par exemple contribué à leur élaboration à travers la notion d'espérance. De l'identification et de la mesure des risques encourus dépend le choix de l'action, qui au final importe seule pour les innovations. Mais toutes ces méthodes ne traduisent pas les risques mais leurs perceptions. La mesure des risques identifiés n'est pertinente que pour objectiver l'évaluation d'une situation, non pour innover.

Cette thèse ne cherche pas à présenter de formulation spécifique ou à développer de méthodes de gestion particulière. La littérature a été parcourue pour comprendre le traitement des risques et au delà la culture de la société commanditaire de la thèse et la soutenir dans ses efforts pour la rendre plus propice à l'innovation. En pratique, les risques des projets ont été essentiellement gérés en conformité avec les procédures établies dans la société [RAY 03] selon les recommandations des normes internationales [AFN 09]. Toutefois, les trajectoires des projets accompagnés par le département innovation ont mis en évidence la nécessité d'insister sur les risques liés aux partenariats. Les lectures se sont ainsi orientées vers les travaux conduits dans cette optique [CHR 1992]. Par ailleurs, l'innovation étant considérée avant tout résultant d'un état d'esprit, les ouvrages traitant de la perception des risques [COL 04] et de leur rôle dans le façonnement de la culture d'entreprise [DAV 92] ont également été recherchés.

1.3 Conséquences pratiques

Le parcours de la littérature a essentiellement servi à consolider la réflexion sur l'approche de l'innovation et à dégager des outils pratiques. Les différents champs de recherche ont été restreints pour n'en dégager que des éléments venant enrichir les arguments en faveur de cette thèse : les travaux retenus ont en commun de placer l'homme au cœur de leur problématique. La thèse n'est pas pour autant la continuation d'aucun d'entre eux. Par exemple les apports de Schumpeter sont souvent cités pour sa reconnaissance de l'influence de la personnalité des entrepreneurs, bien que la thèse s'éloigne de la vision économique de cet auteur. En sciences des organisations, ce sont les travaux sociologiques centrés sur les questions de culture qui ont été prédominant, par exemple ceux de P. d'Iribane. Les outils pratiques ont quant à eux été sélectionnés pour leur simplicité d'appropriation et la lisibilité de leur résultats. Sans chercher d'originalité, ce sont des méthodes internationalement reconnues qui ont été choisies. Toutefois, un outil d'évaluation économique a été conçu pour être adapté au contexte pratique de l'entreprise (à son environnement concurrentiel et industriel) et au profil de ses utilisateurs.

1.3.1 Outils stratégiques

Les approches stratégiques ont été réparties en trois groupes, lors de l'étude bibliographique. Six d'entre elles ont été sélectionnées pour leur simplicité et leur efficacité pratique, dans le but de guider les réflexions des innovateurs sur la pertinence de leur proposition :

Analyse de la concurrence	Positionnement de l'entreprise	Portefeuille d'activités
PEST	7S (Mc Kinsey)	Matrice BCG
5 forces (Porter)	SWOT	

Tableau 3 : Approches stratégiques courantes retenues

Cette thèse propose de procéder selon six actions successives :

- Saisir les tendances d'évolution du contexte de l'entreprise en repérant les faits d'actualité significatifs (Politique, Economique, Sociale ou Technologique) préconisés par l'approche PEST
- Comprendre le jeu des rivalités entre concurrents en conduisant une discussion basée selon l'approche des «5+1 forces» M..Porter [POR 08],

- Discerner les possibilités d'actions en les déduisant des facteurs clés de succès et du bilan de compétences selon l'approche classique [LEA 65],
- Anticiper les scénarii matrice SWOT (Stenghts and Weaknesses of the organization in the light of the Opportunities and Threats of its environnement) [WEI 82]
- Identifier les avantages compétitifs qui justifient l'existence de l'innovation grâce aux graphes 7S de Mc Kinsey [MCK 72]
- Evaluer la priorité du projet pour l'entreprise et par conséquence le soutien interne dont le projet bénéficiera grâce à la matrice BCG (Boston Consulting Group).

Le tableau 4 ci après expose schématiquement les six grandes étapes, décrites en annexe, en noir sont inscrites les données à collecter pour analyse (identifier les produits de substitution existants, les menaces des concurrents...) et en rouge les informations déduites des études (expression de la rivalité entre concurrents, possibilités d'actions...).

1.3.2 Outils économiques

Au fil des projets suivis, les estimations économiques trop précises se sont avérées peu utiles, le déroulement des projets étant trop incertain. Il est apparu préférable d'ajuster l'élaboration du modèle de calcul en fonction de l'avancée des projets. En phase de proposition d'idée, des modèles rudimentaires sont suffisants au vu de l'incomplétude des informations, tandis qu'en phase de lancement industriel, les résultats doivent être justifiés par des modèles plus affinés [BER 04] (hypothèses de calculs financiers plus détaillées). La cohérence entre la précision des estimations de gains recherchées et l'ordre de grandeurs des erreurs possibles est gage de pertinence des pronostics. Un modèle de calcul de business case a été conçu (BC) et la méthode EVM a été sélectionnée pour le suivi les projets, pour privilégier une présentation visuelle des résultats. La méthode EVM a été directement importée depuis la littérature. L'outil de calcul conçu est une adaptation par combinaison de plusieurs modèles existants. Les formules financières sont celles présentées dans les ouvrages mathématiques traditionnels (pour les calculs des NPV, IRR,...) tandis que les hypothèses étaient adaptées à l'environnement industriel (non prise en compte des variations de taux d'intérêts, échéancier Indexé annuellement,...). Les détails des méthodes sont présentés en annexes. La présentation graphique des résultats, est synthétisée dans le tableau 4 ci après. Pour chaque projet, un BC est construit en phase d'analyse de la proposition, puis suivi à l'aide des EVM une fois lancé.

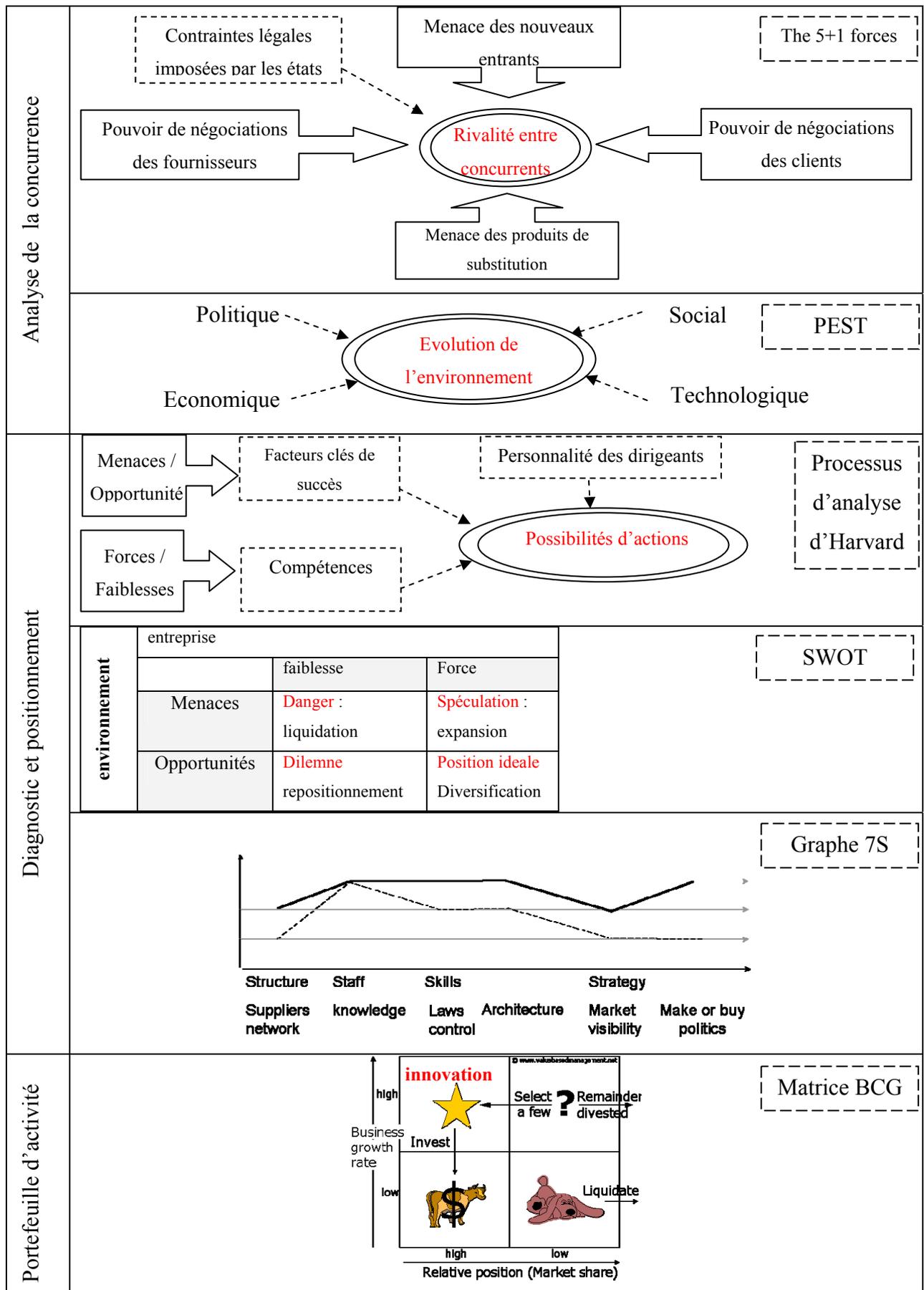


Tableau 4 : les six grandes étapes stratégiques

Ecart entre situations	BC																																				
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">SITUATION ACTUELLE</td> <td style="text-align: center;">SITUATION FUTURE</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PROJET RETROFIT : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>INFORMATIONS GENERALES Nombre d'hélicoptères concernés : H Nombre de pièces par hélicoptères / par an : N Prix unitaire : P Volume financier: = Px H x N Poids pièce : Durée et coût récurrent de fabrication :</td> <td>INFORMATIONS GENERALES Nombre d'hélicoptères concernés : H Nombre de pièces par hélicoptères / par an : N Prix unitaire : P Volume financier: = Px H x N Poids pièce : Durée et coûts récurrents de fabrication ::</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Δ coûts, poids durées en regard des coûts de NRC</td> </tr> <tr> <td>MAINTENANCE : Nombre de pièces concernées : Nombre d'heures nécessaires : Coût de la maintenance estimé :</td> <td>MAINTENANCE : Nombre de pièces concernées : Nombre d'heures nécessaires : Coût de la maintenance estimé :</td> </tr> </table>	SITUATION ACTUELLE	SITUATION FUTURE		PROJET RETROFIT : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	INFORMATIONS GENERALES Nombre d'hélicoptères concernés : H Nombre de pièces par hélicoptères / par an : N Prix unitaire : P Volume financier: = Px H x N Poids pièce : Durée et coût récurrent de fabrication :	INFORMATIONS GENERALES Nombre d'hélicoptères concernés : H Nombre de pièces par hélicoptères / par an : N Prix unitaire : P Volume financier: = Px H x N Poids pièce : Durée et coûts récurrents de fabrication ::	Δ coûts, poids durées en regard des coûts de NRC		MAINTENANCE : Nombre de pièces concernées : Nombre d'heures nécessaires : Coût de la maintenance estimé :	MAINTENANCE : Nombre de pièces concernées : Nombre d'heures nécessaires : Coût de la maintenance estimé :																										
	SITUATION ACTUELLE	SITUATION FUTURE																																			
	PROJET RETROFIT : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>																																				
INFORMATIONS GENERALES Nombre d'hélicoptères concernés : H Nombre de pièces par hélicoptères / par an : N Prix unitaire : P Volume financier: = Px H x N Poids pièce : Durée et coût récurrent de fabrication :	INFORMATIONS GENERALES Nombre d'hélicoptères concernés : H Nombre de pièces par hélicoptères / par an : N Prix unitaire : P Volume financier: = Px H x N Poids pièce : Durée et coûts récurrents de fabrication ::																																				
Δ coûts, poids durées en regard des coûts de NRC																																					
MAINTENANCE : Nombre de pièces concernées : Nombre d'heures nécessaires : Coût de la maintenance estimé :	MAINTENANCE : Nombre de pièces concernées : Nombre d'heures nécessaires : Coût de la maintenance estimé :																																				
Seuil de rentabilité	<table border="1" style="width: 50%; margin-bottom: 10px;"> <tr> <td>Taux horaire BE</td> <td>90,0 €/h</td> </tr> <tr> <td>Taux d'actualisation</td> <td>11,0%</td> </tr> <tr> <td>Coef appro EC</td> <td>7,9%</td> </tr> <tr> <td>Taux d'inflation</td> <td>0,0%</td> </tr> <tr> <td>Taux de change €/€</td> <td>1,2</td> </tr> </table> <div style="text-align: center;"> Flux Financiers annuels actualisés ; Gains RC+ Coûts croisière </div> <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <caption>Flux Financiers annuels actualisés (Gain en k€)</caption> <thead> <tr> <th>Année</th> <th>Gain (k€)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2009</td><td>-100</td></tr> <tr><td>2010</td><td>-100</td></tr> <tr><td>2011</td><td>-100</td></tr> <tr><td>2012</td><td>150</td></tr> <tr><td>2013</td><td>200</td></tr> <tr><td>2014</td><td>250</td></tr> <tr><td>2015</td><td>300</td></tr> <tr><td>2016</td><td>350</td></tr> <tr><td>2017</td><td>300</td></tr> <tr><td>2018</td><td>250</td></tr> <tr><td>2019</td><td>200</td></tr> <tr><td>2020</td><td>150</td></tr> </tbody> </table>	Taux horaire BE	90,0 €/h	Taux d'actualisation	11,0%	Coef appro EC	7,9%	Taux d'inflation	0,0%	Taux de change €/€	1,2	Année	Gain (k€)	2009	-100	2010	-100	2011	-100	2012	150	2013	200	2014	250	2015	300	2016	350	2017	300	2018	250	2019	200	2020	150
Taux horaire BE	90,0 €/h																																				
Taux d'actualisation	11,0%																																				
Coef appro EC	7,9%																																				
Taux d'inflation	0,0%																																				
Taux de change €/€	1,2																																				
Année	Gain (k€)																																				
2009	-100																																				
2010	-100																																				
2011	-100																																				
2012	150																																				
2013	200																																				
2014	250																																				
2015	300																																				
2016	350																																				
2017	300																																				
2018	250																																				
2019	200																																				
2020	150																																				
Comptabilité	<div style="text-align: right;">EVM</div> <p>SV : Δ de valeur des travaux accomplis- prévus CV : Δ de valeur des travaux accomplis-dépenses faites</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <table border="1" style="width: 60%;"> <tr> <td style="text-align: center;">☹️</td> <td style="text-align: center;">☺️</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">En avance En sur dépense</td> <td style="text-align: center;">En avance Gain d'argent</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">En retard En sur dépense</td> <td style="text-align: center;">En retard Gain d'argent</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">☹️</td> <td style="text-align: center;">☺️</td> </tr> </table> <div style="text-align: center;"> <p>SV</p> <p>CV</p> </div> </div>	☹️	☺️	En avance En sur dépense	En avance Gain d'argent	En retard En sur dépense	En retard Gain d'argent	☹️	☺️																												
☹️	☺️																																				
En avance En sur dépense	En avance Gain d'argent																																				
En retard En sur dépense	En retard Gain d'argent																																				
☹️	☺️																																				

Tableau 5 : notions économiques

1.3.3 Outils d'analyses des risques

Sur un plan idéologique, le choix de conception du risque a été motivé pour des raisons personnelles, tant ce concept est culturel. Avec l'adhésion des responsables du département, cette étude a retenu une approche positive : celle d'Aventure, de dépassement des limites.

Sur un plan pratique, des check-lists adaptées aux projets innovants conduits par le département Innovation ont été conçues. Les procédures standard de l'entreprise pour leur identification, leur quantification et leur suivi ont été adoptées. Elles ont cependant été complétées par la méthode RPV (basée sur les gestions des Ressources, Process et Valeurs d'une entreprise), repérées dans la littérature. Cette méthode présente un intérêt particulier pour identifier les risques liés à l'évaluation de nouveaux partenaires, risques particulièrement sensibles pour les projets innovants. Elle consiste à analyser les postulants en distinguant leur Ressources, leur Process et leur Valeurs, pour analyser finement leurs sources de création de valeur ajoutée.

Conclusion

« Que faut-il faire et comment ? » La question de l'industriel implique l'existence de plusieurs possibilités à identifier, pour en sélectionner les plus pertinentes et les opérationnaliser.

L'éventail des possibilités identifiables a été pragmatiquement restreint en fonction des informations disponibles. Par exemple, les axes d'innovation attrayant à la production n'ont pas été envisagés, le département Innovation ne souhaitant pas intervenir dans ce domaine. La recherche de pistes d'innovation s'est ainsi orientée vers les innovations de produits, les informations sur le marché étant plus accessibles. En effet la compétition est le moteur de l'innovation.

Pour des raisons politiques, la phase d'opérationnalisation s'est limitée au lancement des projets et non à leur industrialisation, les investigations dans l'outil de production n'étant pas

souhaitées par le département Innovation. L'étude s'est orientée vers la recherche de client pour justifier le développement d'innovations.

L'acte essentiel pour répondre à l'industriel réside ainsi dans la sélection. Il nécessite la définition préalable d'un système de valeur. La démarche d'innovation n'est pas bonne ou mauvaise dans l'absolu. La sélection dépend des objectifs visés. Des innovations profitables pour les uns peuvent ne pas l'être pour les autres, ne serait-ce que par leur différence d'objectifs, à court terme ou à long terme par exemple. De plus les innovations orientent à leur tour le choix des objectifs : si les innovations sont imaginées en vue d'objectifs donnés, réciproquement les objectifs sont fixés en fonction des possibilités d'innovation identifiées. Le processus de sélection est donc complexe. Acte fondamentalement stratégique, il dépend autant de l'analyse d'une situation que de sa perception.

Le périmètre théorique de l'étude est ainsi centré de manière à construire une méthode d'approche de l'innovation. Pour répondre à la question de l'industriel, la thèse propose une vision de l'environnement concurrentiel, à partir de la quelle décrypter les événements survenant dans la vie des projets, aux niveaux macroscopique comme microscopique. Cette grille de lecture permet d'interpréter la réalité de manière en en dégager une méthode d'approche favorable aux ambitions innovantes. Construite autour de la notion de risque, elle relève et encourage certains comportements humains.

Les risques, et donc l'innovation, ayant été identifiés comme résultant d'un état d'esprit, c'est en changeant sa culture qu'une entreprise peut passer d'un fonctionnement de type process vers un fonctionnement centré sur l'innovation. Le principe idéologique de cette thèse est que l'innovation dépend essentiellement de la perception des innovateurs. La vaste littérature a été parcourue à la recherche de références en vue de construire un système de valeurs pour lire au mieux la compétition et l'affronter profitablement.

L'innovation est un état d'esprit

Tableau 6 : Définition personnelle de l'innovation

2. Présentation du contexte industriel

Introduction

L'industrie des hélicoptères est une industrie particulière. Au delà des contraintes économiques qui caractérisent son marché, ses produits présentent des originalités technologiques spécifiques qui les différencient des autres produits mécaniques, y compris dans le secteur aéronautique.

Les phénomènes aéronautiques liés au rotor sont très complexes à appréhender, en théorie comme en pratique. Les phénomènes transitoires entre les phases de vol, les perturbations acoustiques et les vibrations induites dans les structures sont difficiles à formaliser. La présence d'éléments tournants, les moments induits et les effets gyroscopiques compliquent tous les travaux. Les mises au point des nouvelles innovations demandent ainsi de nombreuses itérations dans leur conception, pour intégrer les retours d'expérience. Le rythme des avancées s'en trouve ralenti et leur budget s'alourdit en conséquence.

Historiquement, les hélicoptéristes ont dû garantir dans les années 30 la stabilité du vol (introduction du battement du rotor), trouver des solutions techniques pour contrer l'effet de couple dans les années 40 (mise au point du rotor arrière), assurer une transmission de puissance suffisante au rotor dans les années 50, perfectionner la motorisation pour rendre attractif le recours à l'hélicoptère dans les années 60 (adaptation du moteur à turbine), rechercher des matériaux adaptés pour réduire les coûts dans les années 70 (structure en composite verre carbone ou en fibre d'aramide – nouvel alliage d'aluminium AluZgn), et intégrer des systèmes spécifiques aux missions dans les années 80 (caméra infrarouge, filtre anti-sable, dégivreur...). [SEI 08] Les décennies suivantes ont été orientées vers l'optimisation des performances et la réduction des coûts des hélicoptères conçus jusqu'alors. Les efforts se sont portés sur la consolidation des structures industrielles (réseau de filiales et de partenaires, optimisation des process industriels...). Les innovations ont essentiellement été orientées vers l'intégration des nouvelles technologies électroniques et informatiques et les systèmes de communication pour produire des hélicoptères plus adaptés aux besoins des clients.

Actuellement, les nouvelles problématiques de l'industrie sont environnementales (réduction des émissions polluantes...), sécuritaires (détection d'obstacle...) et partenariales. Concernant ce dernier aspect, les hélicoptéristes se sont engagés dans des collaborations avec des pays « low cost », pour bénéficier des marchés émergents ou d'une main d'œuvre moins chère. Ils attirent de nouveaux clients par les offres de transferts technologiques. Les clients ne sont plus de simples consommateurs qui achètent un produit fini. Ils s'engagent dans des partenariats industriels. Si dans le passé les pays négociaient des licences de fabrications pour l'achat d'appareils, ils cherchent désormais à acquérir plus d'autonomie et demandent des co-développements. Ils prennent ainsi à leur charge une partie des systèmes (c'est le cas pour la Chine sur l'EC 175), ou partagent les investissements et les responsabilités. Ces situations imposent de gérer des risques liés à la circulation de l'information. Elles induisent des réorganisations internes qui impactent les conduites des projets innovants.

Le marché militaire arrivant à saturation, les flottes des grands pays étant bientôt toutes presque renouvelées, et les principaux hélicoptéristes maîtrisant peu ou prou les mêmes technologies, la compétition s'intensifie. Les préoccupations de l'industrie de demain sont diverses :

- La qualité du service offert aux clients doit s'ajouter aux nécessaires satisfactions du rapport coût / performances attendus.
- Les réseaux de partenaires doivent être entretenus et développés dans des pays low cost ou au marché prometteur.
- La maintenance doit être facilitée autant pour réduire les coûts que pour éviter l'immobilisation des appareils.
- Le confort, vibratoire et sonore, doit être amélioré
- La dimension environnementale doit être intégrée, pendant les phases de production comme d'exploitation des hélicoptères

Stratégiquement, les entreprises développent de nouvelles versions de leurs appareils existants, non seulement pour accroître la performance des produits, mais également pour rendre obsolète ceux de leurs concurrents. Quand les nouveaux composants intégrés sont conçus à partir de technologies de ruptures, le concept de l'hélicoptère actualisé semble lui-même revisité. Par exemple, les EC 135 sont conçus sur des concepts technologiques datant des années 70. Pourtant, l'intégration de nouvelles technologies (nouveaux matériaux,...) leur

offre de nouveaux attraits commerciaux et les projette dans le futur. En changeant de gamme de performance, ils ne sont plus comparables avec leurs anciens rivaux. Qu'un hélicoptériste ait pris l'initiative de développer une nouvelle version ou qu'il y soit contraint, c'est un effort d'innovation essentiel pour rester dans la compétition. Actuellement les cycles d'adaptation d'appareils existants s'accélèrent car de nombreuses technologies avec interface homme – machine changent la perception des utilisateurs (avionique type web par exemple).

Dans le même temps, les industriels recherchent des formules élargissant les domaines de vol (augmentation de la vitesse de croisière, ...) et proposent de nouvelles possibilités de missions (augmentation de la vitesse, de l'autonomie, nouveaux équipements). Actuellement cette recherche s'accélère car les avancées technologiques permettent de finaliser des solutions explorées dans le passé mais n'ayant pu aboutir faute de maturité technologique. Elles sont autant de nouvelles possibilités permettant de gagner des avantages compétitifs décisifs sur les concurrents actuels. Par ailleurs, les innovations garantissent de garder une longueur d'avance par rapport aux autres pays émergents vers lesquels des transferts de technologies ont été effectué.

L'objectif de ce chapitre est de cerner le contexte industriel dans lequel la compétition se déroule en présentant la concurrence et les pistes de développements.

2.1 Présentation de l'industrie hélicoptériste

2.1.1 Le marché des hélicoptères

Le marché mondial des hélicoptères représentait en 2008 approximativement 10 milliards d'euros, pour un peu moins d'un millier d'appareils commercialisés. Comparativement, l'industrie automobile produit chaque année 70 millions de voitures pour des centaines de millions de clients. [CCF 09] La taille du marché des hélicoptères peut donc être considérée comme réduite. Cette faible taille est à l'origine de nombreuses particularités industrielles (choix limités de partenaires, risques financiers importants...), détaillées dans le chapitre suivant.

Le marché est relativement stable : en premier lieu parce que le nombre de produits proposés est limité (moins d'un appareil nouveau est mis annuellement sur le marché pour chaque

constructeur, et les constructeurs les plus importants sont moins d'une dizaine); en second lieu parce que le produit est cher et a une longue durée de vie, n'incitant pas les consommateurs à le renouveler fréquemment; Ensuite parce que les achats d'hélicoptères ne sont jamais compulsifs mais motivés par des besoins spécifiques. Enfin, de nombreux clients sont des états ou des organismes gouvernementaux, fidèles à leurs industries nationales ou soucieux de ne pas créer de tensions diplomatiques en changeant de fournisseurs.

Dans ce contexte de stabilité, les événements impactent la notoriété des hélicoptéristes. Les salons, les articles de presse apparaissent d'autant plus nécessaire pour maintenir la bonne réputation des sociétés que les clients sont potentiellement informés de tout accident par le biais des médias. La visibilité des performances maintient la réputation de compétences des hélicoptéristes, soucieux de leur image auprès de clients généralement fidèles à une marque au moins pour des raisons de facilité de gestion de la maintenance.

A la différence des industriels du luxe, les hélicoptéristes ne communiquent pas à travers leurs clientèles. Ils communiquent sur la même base que les constructeurs d'autres modes de transport. Comme la plupart des industriels du monde de l'automobile, les hélicoptéristes communiquent volontiers sur leurs efforts innovants, ou se créent des prétextes en battant des records. Eurocopter a ainsi décidé de battre le record du monde de la plus haute altitude atteinte en hélicoptère, en atterrissant au sommet de l'Everest en 2006. A la différence des constructeurs automobiles, ils ne s'affrontent pas directement lors de compétitions officielles dédiées à leur industrie, car ils sont trop peu nombreux. Ce manque d'affrontement direct explique en partie la quasi inexistence des produits dérivés. Les bénéfices des hélicoptéristes proviennent ainsi de la seule vente de leurs appareils, comme les avionneurs. Il semble pourtant aisé d'enthousiasmer le grand public, passionné par la conquête du ciel. Des propositions viendront encourager le développement de cette activité économique dans les chapitres suivants.



Figure 6 : Compétition et produit dérivés

2.1.1.1 Evolution des ventes

L'hélicoptère existe sur le marché grâce à sa capacité à décoller et atterrir verticalement, qui lui permet d'effectuer des missions qu'aucun autre appareil ne peut permettre (Décollage depuis des toits, des plates-formes, vol stationnaire par exemple). Ne pouvant être supplanté par un autre appareil, l'hélicoptère a un cœur de marché protégé.

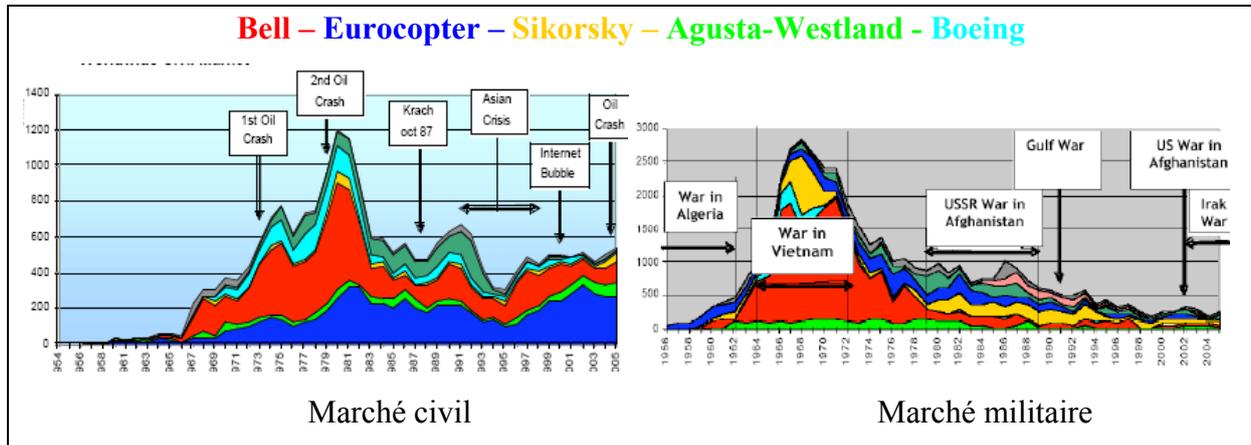


Figure 7 : Evolution des ventes civiles et militaires (Bases de données Eurocopter)

Le potentiel de ventes civiles évolue avec l'actualité financière. La crise asiatique, les crises pétrolières successives ou la bulle internet sont par exemple à l'origine de ces variations. L'augmentation du prix du baril favorise son extension car l'hélicoptère est alors le seul moyen de transport attractif pour accéder aux sites de production, au regard du rapport vitesse / coût. Par contre, les crises boursières réduisent le marché en pénalisant les investissements. Les répercussions de la crise boursière de 2009 sont à mettre en regard des risques de flambée du pétrole.

Le marché militaire évolue naturellement avec les différents conflits. Les difficultés de manœuvre et d'évacuation des blessés dans la jungle vietnamienne ont entraîné un recours massif à l'hélicoptère dont le marché a explosé. Ce n'est plus le cas des guerres contre le terrorisme qui sont d'avantage basées sur le renseignement, et au cours desquelles les blessés le sont souvent en terrains d'affrontement urbains. Par ailleurs, les flottes militaires des grandes puissances ne nécessitent plus d'être renouvelées. Le marché arrivera prochainement à saturation.

2.1.1.2 Segmentation du marché

Le marché est découpé en deux grands segments, civil et militaire. Les missions des clients civils, essentiellement compagnies pétrolières et acteurs parapublics, sont extrêmement variées. Les appareils doivent être « personnalisés », c'est-à-dire dotés d'équipements divers (treuils, matériels de surveillance, réservoirs supplémentaires...), dès leur fabrication pour satisfaire les besoins opérationnels des clients. Les clients militaires ont des attentes qui varient avec la mission auquel l'hélicoptère est destiné. Les grand types de missions sont le transport logistique, le transport tactique et les opérations spéciales des commandos, la reconnaissance, l'attaque, l'appui aérien au combat, le transport de VIP gouvernementaux, les missions de sauvetage en mer, et la lutte anti navale ou anti sous-marine (ASW pour Anti Sub-marine Warfare). Leurs besoins spécifiques sont relatifs à la gestion des armements, à la furtivité, la manœuvrabilité, ou encore la non vulnérabilité (capacité de ne pas être endommagé au point d'interrompre le vol).



Figure 8 : Exemples de missions

La décomposition de la gamme ne répond pas à des catégories officielles, mais de la vision du marché des hélicoptéristes. Cette vision oriente les propositions innovantes qui seront formulées pour répondre aux besoins des clients à un moment donné. Elle doit être réexaminée régulièrement afin de suivre leurs évolutions et de ne pas risquer de passer à côté d'une tendance qui se dégagerait.

L'objectif des innovations étant d'assurer les ventes, la segmentation du marché et la perception des besoins qui en découlent sont les premières références que les innovateurs doivent s'approprier, questionner et reformuler. Les questions actuelles sont de savoir comment doit évoluer cette gamme. Faut-il consolider la gamme actuelle, en améliorant les appareils existants, ou faut-il créer des appareils radicalement nouveaux, sur les mêmes segments ou sur de nouveaux segments qui semblent apparaître ? Les paragraphes suivants exposent un panorama succinct des concurrents pour analyser les marges de manœuvre et tenter de dégager une stratégie d'innovation

2.1.1.3 Evolution du nombre d'acteurs

Le nombre d'acteurs du secteur aéronautique est en diminution constante depuis les années 50, par le jeu des fusions et acquisitions. En Europe EADS, Thalès, Finmeccanica et BAE system sont les seuls représentants. Les Etats-Unis et la Russie connaissent une situation analogue. La hauteur des investissements et les risques financiers conduisent en effet les sociétés à mutualiser leurs ressources. La convergence d'intérêts les incite ensuite à se regrouper. Le marché des hélicoptères est ainsi un marché partagé entre peu d'acteurs, et cette taille réduite est à l'origine de nombreuses spécificités industrielles (voit chapitre 1.2)

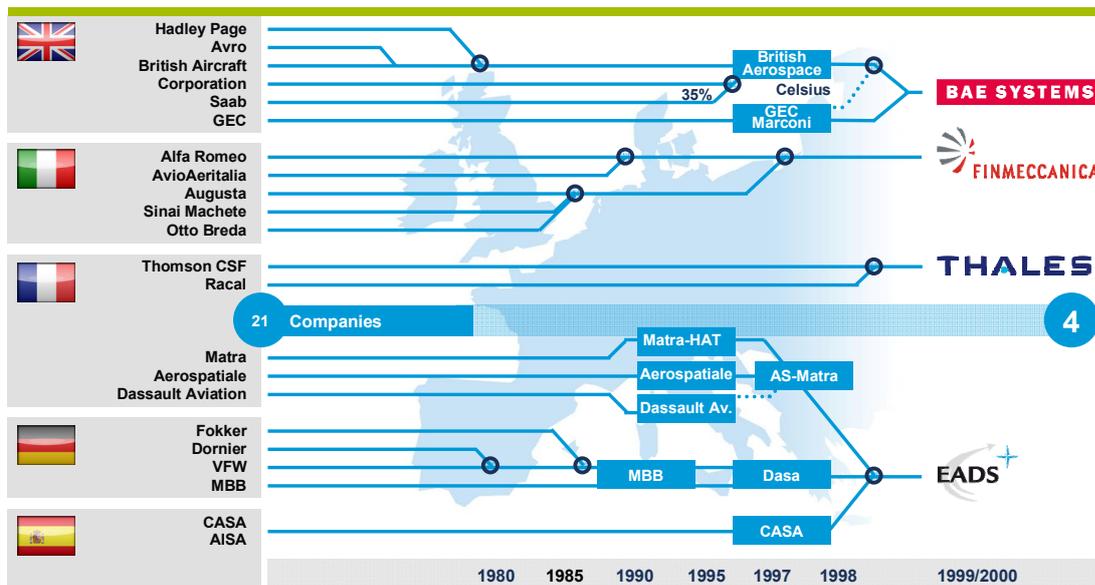


Figure 9 : Concentration des acteurs aéronautiques en Europe

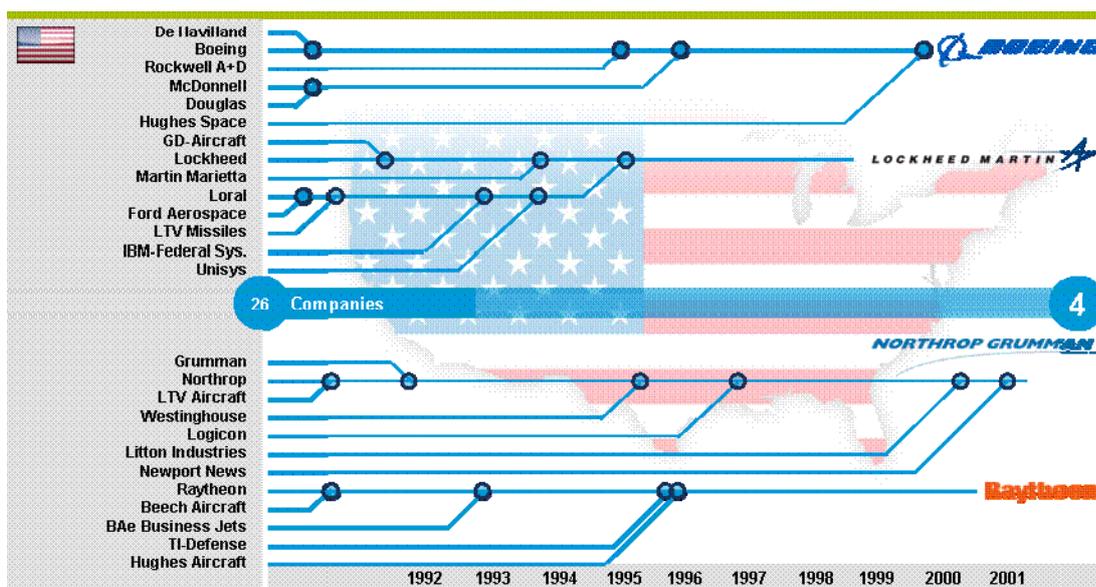


Figure 10 : Concentration des acteurs aéronautiques aux Etats-Unis

2.1.2 Panorama des hélicoptéristes

Le marché des hélicoptères est dominé par six grands constructeurs, en compétition depuis la seconde guerre mondiale. Les parts du marché restant sont partagées entre un nombre grandissant de très petits constructeurs visant une implantation nationale et souvent engagés dans des coopérations avec les grands

Les grands constructeurs sont originaires des Etats-Unis (Bell, Boeing et Sikorsky sont américains) ou d'Europe (Oboromprom est russe, Agusta-Westland Italien et Eurocopter Franco-hispano-allemand). Ils ont en commun d'avoir été créés par des pionniers de l'aviation, d'avoir été soutenus pour leur création par des commandes militaires, d'être insérés dans de grands groupes industriels et d'avoir des partenariats communs.

- **Bell**, fondé par L. Bell en 1935, appartient à Textron (comme Cessna, Lycoming...)
- **Boeing**, fondé par W. Boeing en 1916 a racheté en 60 la société créée par F. Piasecki en 1940, puis en 97 la filiale hélicoptère de Hughes Aircraft, créée par H. Hugues en 1948
- **Sikorsky**, fondé par I.Sikorsky en 1923, appartient à United Technology Corporation, (qui regroupe Carrier, Pratt&Whitney...)
- **Agusta-Westland**, fondé par G.Agusta en 1923, est intégré dans Finmeccanica, (groupe Italien présent dans la défense, le transport et l'énergie...)
- **Oboromprom** regroupe depuis 2002 plusieurs sociétés aéronautiques dont Kamov et Mi-Mil , fondées sous l'impulsion de N.Kamov et M..Mil en 1929 et 1947.
- **Eurocopter**, filiale d'EADS, comme Airbus, Ariane Espace ou Astrium, est une société construite par regroupement successif de sociétés créées par des hommes tels Louis Blériot, René Dorant ou Heinrich Focke dès 1907.

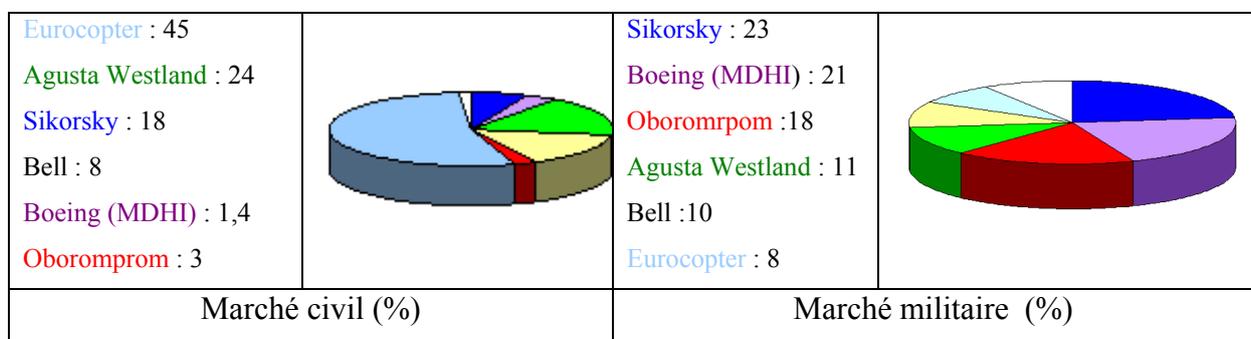


Figure 11 : Parts de marchés des hélicoptéristes (en valeurs)

Les nouveaux entrants sont issus des pays émergents (Chine, Inde, Brésil, Corée). Ils sont le signe visible d'une volonté de puissance militaire de leur gouvernement qui les soutient.

Actuellement les petits constructeurs peuvent être répartis en deux grandes catégories selon qu'ils sont implantés dans un pays émergent ou pas. Les appareils très légers ne sont pas développés par les grands groupes pour lesquels ils ne sont pas suffisamment attractifs d'un point de vue financier. Ces petites structures voient le jour car elles ne sont pas en concurrence directe avec les produits des grands constructeurs.

2.1.2.1 Les grands hélicoptéristes

Dans le domaine de l'innovation, l'avantage a toujours été donné au premier sur le marché. Le premier hélicoptériste identifiant une demande et y répondant est en général leader sur le marché dans les années qui suivent. Les hélicoptéristes ont tendance à copier les modèles des autres, pour ne pas être susceptibles d'ignorer un segment et laisser prospérer un de leurs concurrents. Les études de marché sont influencées par celles de la concurrence. Ils ont également tendance à étendre leur gamme, pour couvrir l'ensemble des besoins de leurs clients. Eurocopter est réputée pour avoir la gamme la plus étendue du marché civil.

		
William Boeing	Igor Ivanovich Sikorsky	Lawrence Bell
		
Boeing Chinook 55	S92	Bell Jet Ranger
		
Domenico Agusta	Michael Mil ; Nicoals Kamov	
		
AW 139	Mil MI 26	Super Puma

Figure 12 : Logos et succès commerciaux des principaux hélicoptéristes

2.1.2.3 Les hélicoptéristes des pays émergents

L'Inde et la Chine sont des pays émergents ayant la volonté de développer à terme des industries nationales pouvant entrer en compétition avec celles des grandes puissances. Leurs bas coûts de main d'œuvre leur offrent un avantage indéniable. La taille de leur marché intérieur leur offre une opportunité de soutenir leurs industries hélicoptéristes naissantes.



Figure 13 : Logos des hélicoptéristes

- Depuis 1951, époque de la guerre de Corée, une commission étatique supervise le développement de l'industrie aéronautique. Des réformes successives ont permis d'organiser le développement des industries mécaniques et à partir des années 60, celui des avionneurs tout spécialement. Elles ont abouti en 2008 à la naissance de Aviation Industry Corporation of China (AVIC), holding chinoise spécialisée dans la construction aéronautique, regroupant des constructeurs d'avions militaires, d'avions de ligne, de turboréacteurs et d'hélicoptères. Elle résulte de la fusion des deux constructeurs China Aviation Industry Corporation I et II, créés en 1998, pour concentrer les ressources et éviter la redondance de nombreux projets. [AVI 09] AVIC compte un effectif de 400.000 personnes pour un chiffre d'affaires de 290 milliards de Yuan (soit 29 milliards d'Euros) et comprend près de 200 filiales installées dans 19 villes dont Pékin, Shanghai, et Tianjin. Les intérêts majeurs d'AVIC sont de développer efficacement des technologies militaires chinoises et éventuellement rivaliser avec Boeing et Airbus sur le secteur de l'industrie de l'aviation civile. [GLO 09]

- Hindustan Aeronautics Limited (HAL), basée à Bangalore, Inde, est l'une des plus grandes sociétés de l'industrie aérospatiale d'Asie. Placée sous la gestion du ministère de la défense indien, cette société est principalement impliquée dans la fabrication d'aéronefs, de turboréacteurs, d'équipements de navigation ainsi que la création de sites aéroportuaires. Fondée en 1940 à Bangalore par Walchand Hirachand la vocation initiale de la société, alors nommée « Hindustan Aircraft », était de produire des avions militaires pour la Royal Indian Air Force. Après que l'Inde eut obtenu son indépendance en 1947, elle joua un rôle crucial dans la modernisation de l'armée de l'air indienne. La société travaille pour des sociétés aérospatiales occidentales comme Airbus, Boeing, Honeywell, Sukhoi, Israël Aircraft, BAe

Systems, Dassault, pour lesquelles elle a obtenu des contrats de plusieurs millions de dollars pour fabriquer des pièces de rechange d'aéronefs et des moteurs [HAL 09]. Elle tente de soutenir son industrie hélicoptériste en se spécialisant dans le créneau des hélicoptères de très haute montagne et de convaincre des clients des pays en développement ne pouvant s'offrir les nouveaux appareils des grands constructeurs. Elle a ainsi vendu des hélicoptères au Chili.

2.1.2.2 Les hélicoptéristes légers

Les hélicoptères très légers sont produits par de petites sociétés. Elles peuvent exister car elles ne sont pas en concurrence avec les principaux constructeurs. En effet, les consommateurs sont généralement des particuliers qui n'achètent qu'un seul hélicoptère. Le grand nombre de consommateur à gérer, et la faiblesse des marges font que le marché des hélicoptères très légers n'est pas attractif pour les grandes sociétés hélicoptéristes, qui préfèrent gérer moins de clients aux flottes plus grandes, d'appareils plus évolués et sur lesquels les marges sont plus élevées.

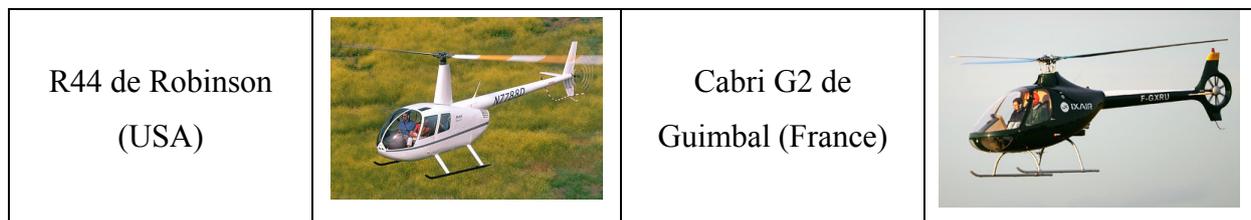


Figure 14 : Exemples de constructeurs d'hélicoptères légers

2.1.2.4 Eurocopter

Eurocopter est une filiale à 100% de EADS (European Aeronautic Defense and Space Company), un des deux leaders mondiaux de l'industrie de l'aéronautique et de la défense, à parité avec Boeing. Il emploie 120 000 personnes. Sa filiale Airbus représente environ la moitié de son activité. Même si cette proportion diminue dans les prochaines années, elle reste toutefois très supérieure à celle d'Eurocopter qui n'est que de 13% [EAD 09]

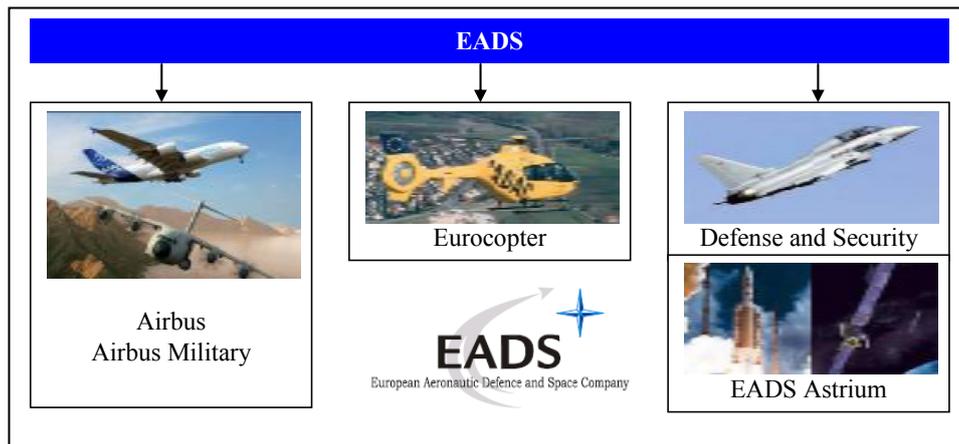


Figure 15 : Position D'EUROCOPTER dans le groupe EADS

Historiquement la société a changé de nom au grès des alliances (SNCASE, Sud Aviation, Aérospatiale,...). Eurocopter est née en 1992 de la fusion des divisions hélicoptères du français Aérospatiale Matra, de l'allemand DaimlerChrysler Aerospace AG (DASA) et de la société espagnole CASA. Cette triple alliance est essentiellement due à une volonté politique des états de construire ensemble un nouveau paysage industriel. Eurocopter dont le siège social est situé à Marignane (France) emploie 13000. Elle rayonne actuellement sur cinq continents au travers d'un vaste réseau de 24 filiales et de participations, pour fournir localement à ses clients des solutions rapides et adaptées à leurs besoins. [EUR 09]

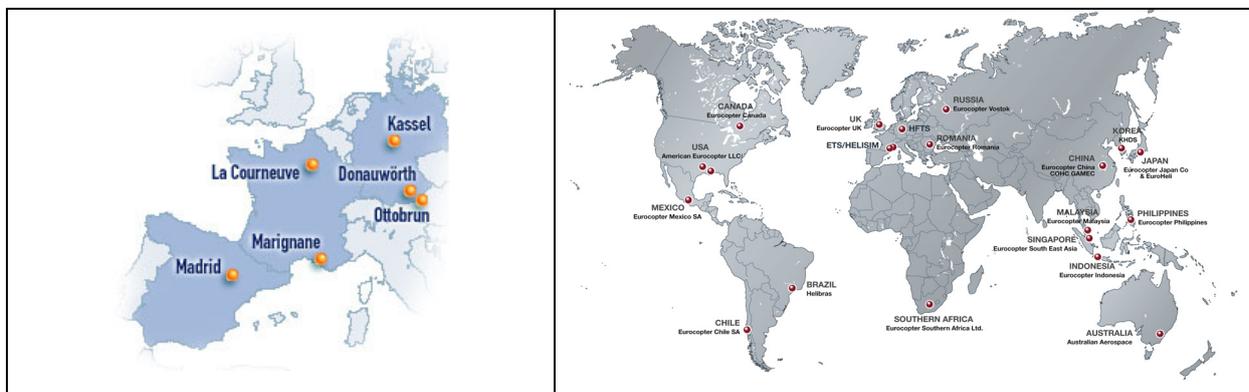


Figure 16 : Sites d'Eurocopter : implantation des filiales

Son développement industriel a débuté dans les années 50 par une association avec le motoriste Turboméca pour réaliser le premier hélicoptère équipé d'une turbine (Alouette). Une licence d'exploitation du S 58 de Sikorsky, lui a permis d'acquérir le savoir faire relatif aux mats rotors, qui lui manquait pour concevoir des hélicoptères sans assistance. Dans les années 60, elle a développé sa gamme sur le marché civil, puis étendu à l'étranger son réseau de partenaires dans le but de partager les frais de recherche et développement Au travers de collaboration avec les firmes anglaise Westland et allemande Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB), elle a acquis la maîtrise des matériaux composites. Ces coopérations ont conduit à des succès commerciaux, dont la gazelle, premier appareil au monde a être équipé d'un rotor arrière appelé « Fenestron », symbole de l'innovation de la société. Dans les années 70 elle a rationalisé sa production, en concevant en autres l'écureuil. Il est depuis un de ses produits les plus vendus. Dans les années 80, la société s'est engagée dans le secteur des hélicoptères militaires spécialisés avec le Tigre et le NH90, développé avec son rival Agusta. En 1991, le Tigre a été le premier appareil à avoir une structure composée à plus de 80% par des matériaux composites. Le NH90 a été le premier hélicoptère doté de commandes de vol électriques. [EUR 09] Dans les années 90, le regroupement des sociétés franco allemande a permis de répondre à des problèmes vitaux en termes de puissance industrielle, de marché intérieur, de moyens financiers et d'appuis politiques et permis aux partenaires d'opposer un front commun à la concurrence internationale. Les années 2000 ont été orientées vers des collaborations avec des pays émergents, pour bénéficier de coûts de production réduits d'une part et pour conquérir leur marché intérieur de l'autre. L'EC175, dont le premier vol à eu lieu en décembre 2009, a ainsi été conçu en partenariat avec les chinois et il sera produit par les deux pays. En Corée, l'hélicoptère Korean, Utility Helicopter (KHP) est co-développé avec la société nationale coréenne KAI. Au Brésil, un contrat de transfert technologique a été signé avec la vente de 50 Super Puma à l'armée Brésilienne [FIG 08]. Le futur se prépare actuellement au sein du département Innovation. L'enjeu de cette thèse est de l'aider.



Figure 17 : Hélicoptères Eurocopter

2.2.3 Analyse de la concurrence

A l'exception de Bell, dont l'avenir est incertain, tous les autres ont des stratégies offensives pour conquérir des parts de marchés.

Bell en situation financière difficile ces dernières années a pour objectif de consolider sa position sur le marché civil. Textron sa société mère a officiellement songé en 2009 à se défaire de la filiale hélicoptère avant de changer d'avis. Pour recouvrer un équilibre, Bell doit faire aboutir ses projets de recherche qui consomment ses ressources (ex le V22). Son avenir dépend de sa capacité à les commercialiser.

Boeing a une posture radicale. Elle a vendu sa filiale MD Helicopter en 1999 à une holding internationale pour se focaliser sur les activités de défense, estimant l'hélicoptère comme une formule en fin de vie, dont la métamorphose est trop incertaine pour être attractive. Pour Boeing, la valeur ajoutée se situe dans l'intelligence des systèmes intégrant les nouvelles technologies et l'hélicoptère n'est qu'une plateforme. Ce sont les systèmes qui façonneront le futur, peu importe la nature des aéronefs qui les utiliseront. La compagnie dispose d'un carnet de commande conséquent lui assurant les ressources matérielles suffisantes pour réinvestir dans une filiale quand l'avenir de l'hélicoptère sera moins incertain.

Sikorsky est le plus engagé des concurrents dans le développement de nouveaux hélicoptères. Il dispose d'une très importante réserve de liquidités grâce à ses contrats avec l'armée américaine. Cette manne financière lui permet de conduire une politique innovante très ambitieuse. Il mise sur un concept de famille pour rentabiliser les recherches. Le même principe de bi rotors coaxiaux propulsés par une hélice arrière serait décliné à des tailles diverses. Ces appareils, connus sous le nom générique X2, sont conçus pour être plus rapide que les hélicoptères actuels. Essentiellement engagé dans des activités militaires, il espère remporter avec cette nouvelle gamme des parts du marché civil. Il doit pour cela déployer actuellement ses offres de services. Le rachat de Bell, connu pour la qualité de son réseau pourrait l'y aider.

Agusta Westland, société moribonde jusqu'au début des années 2000, est engagé dans une politique de produits ambitieuse mais incertaine avec le BA609, tilt rotor issu du V22 que Bell n'a pas réussi à finaliser. Elle étend par contre une gamme d'appareils aux technologies matures mais commercialement efficaces (AW 139, AW149...) pour concurrencer directement ceux d'Eurocopter. L'origine illégale des subventions étatiques qui financent ce

déploiement pourrait être sanctionné par Bruxelles. Ses activités innovantes en seraient alors freinées. Elle investit dans de nombreux partenariats internationaux (filiale en Russie, Inde...) en espérant profiter des volontés de développement de ces pays.

Oboronprom a mis en place un consortium pour assurer le cycle complet de réalisation de ses hélicoptères, depuis la conception jusqu'à la production. En 2008 il a créé une entité exclusivement dédiée à la certification aux normes occidentales des futurs appareils en cours de conception dans les différentes filiales. Résolument tourné vers la compétition mondiale, l'hélicoptériste bénéficie du soutien du gouvernement russe qui aspire à retrouver un certain prestige, en renouant par exemple avec son glorieux passé aéronautique. Cette aide lui permet de restructurer et moderniser ses usines. Il recherche des partenaires étrangers pour pénétrer les marchés occidentaux. Sa très grande expérience et quelques produits de niche (très gros porteurs) sont les atouts qui lui permettent d'espérer d'arriver à terme à percer.

Avic bénéficie de la politique gouvernementale chinoise visant l'autonomie du pays. L'hélicoptériste est encouragé financièrement dans son développement pour assurer à la Chine une production interne. Ses coûts de main d'œuvre très bas et la taille de son marché intérieur lui permettent de soutenir une production. La diversité des productions technologiques que les chinois ont réussi à s'approprier convainc qu'ils réussiront à terme à concurrencer les grands hélicoptéristes. La seule question est de savoir s'ils arriveront à rattraper leur retard. Pour la décennie qui vient, ce ne sera déjà pas le cas. Mais ils peuvent toutefois saisir des parts de marchés importantes pour des raisons protectionnistes en Chine, pour des avantages de coûts dans les pays pauvres ne pouvant s'offrir les appareils des grands constructeurs.

Les hélicoptéristes des autres pays ne sont pour le moment pas des concurrents. Cette situation peut sembler identique à celle connue par l'industrie automobile il y a quelques décennies. Elle semblait réservée aux pays industrialisés mais les pays émergents ont réussi à s'imposer. Peu imaginait dans les années 50 qu'un jour qu'un groupe indien (Tata) percerait sur les marchés occidentaux. La situation est cependant différente de celle du secteur des hélicoptères. Certes, un jour ces pays s'approprient les technologies actuelles, mais l'acquisition sera plus ardue et plus longue. Les japonais ont réussi à s'imposer sur le marché automobile car ils bénéficiaient d'une main d'œuvre surqualifiée, leurs ingénieurs aéronautiques devant se convertir. Il est plus difficile de former des ingénieurs de mécanique générale pour qu'ils investissent le champ complexe des hélicoptères. L'acquisition et la

maitrise des savoirs spécifiques des hélicoptères se faisant principalement grâce au retour d'expérience, il leur faut avoir un marché minimum pour espérer se développer. Il n'y a à l'heure actuelle que la Chine qui peut se le payer, vu la taille de son marché intérieur. L'Inde, dans une situation économique différente mise sur des marchés de niches (haute montagne) mais son activité reste marginale. Les autres pays doivent trouver un créneau laissé libre par les grands constructeurs pour espérer pouvoir se développer.

Les marchés émergents offrent des possibilités d'extension qui allèchent l'ensemble des hélicoptéristes. Ils n'hésitent pas à s'implanter dans ces pays au travers de partenariat pour mieux séduire leurs futurs clients. Les hélicoptéristes internationalisent toute leur production.

La mésaventure financière de Bell illustre l'incertitude des investissements en R&D. Les hélicoptéristes préfèrent jouer la prudence et répondent aux besoins de clients déjà identifiés, en améliorant leur gamme ou en la complétant pour ne pas laisser un concurrent prospérer. Cet état de fait entraîne une tendance au mimétisme. Les concurrents identifient les mêmes besoins, développent les mêmes stratégies et conçoivent des hélicoptères qui se ressemblent. Actuellement, le manque de distinction entre concurrent a réduit leurs avantages compétitifs. Pour se dégager de la concurrence frontale qui s'installe et entraîne inexorablement les prix et les marges vers le bas, les hélicoptéristes doivent proposer de nouveaux produits. La compétition s'intensifie donc. [EPS 09]

Le paragraphe suivant examine les pistes de développement que les hélicoptéristes peuvent explorer. Quelles que soient les tendances retenues, tous ont à cœur d'optimiser les coûts et de se concentrer sur les produits ou services de plus grande valeur ajoutée.

2.2 Tendances d'évolution

Deux principales options s'offrent aux hélicoptéristes pour dessiner leur avenir. Soit ils améliorent leurs appareils existants, soit ils conçoivent des appareils radicalement nouveaux.

Si les stratégies doivent choisir entre ces deux axes, ils ne s'excluent pourtant pas entièrement l'un l'autre. La recherche d'un nouvel appareil peut entraîner la mise au point de composants commercialisable pour les hélicoptères existants et la recherche de composants particulier peut permettre aux industriels d'oser investir dans un nouvel appareil en limitant les risques industriels. Ainsi, les hélicoptéristes doivent envisager un futur à long terme (choix de l'axe) et la tactique à court terme pour y parvenir (choix des projets d'innovation). La réalité n'est pas aussi tranchée, car les entreprises pour financer leurs développements doivent se soucier de la gestion de leurs structures et faire vivre leur gamme de produits déjà commercialisés. Cependant, les décisions stratégiques sont toujours exprimées et les caps fixés essaient d'être maintenus. La pertinence des choix sera discutée dans un prochain chapitre.

S'ils choisissent d'investir dans l'amélioration de leurs appareils existants, les hélicoptéristes choisissent de proposer de concevoir de nouvelles générations plus performantes selon des critères définis par le marketing. Les directions de recherche semblant actuellement être les plus prometteuses sont relatives à la sécurité des hélicoptères, à leur convivialité, à leurs performances écologiques, et leurs performances spécifiques à des missions pour lesquelles ils sont achetés (furtivité pour les militaires, autonomie pour les sauvetages...).

S'ils choisissent d'investir dans la conception de produits différents de ce qu'ils produisaient jusqu'alors, les hélicoptéristes anticipent une tendance d'évolution profonde du marché qui bouleversera un jour prochain leur industrie. Les formules qu'ils explorent reprennent parfois d'anciens projets, mais sont qualifiées de nouvelles en ce sens qu'elles n'ont pas encore été commercialisées. C'est le cas des appareils hybrides (entre avion et hélicoptères), des aéro-mobiles ou des hydroptères, et de certains drones pouvant être considérés comme des hélicoptères sans pilote.

Les paragraphes suivants parcourent dans les deux axes (amélioration, nouveau produit) les principales solutions technologiques sur lesquelles ils peuvent choisir de porter leurs efforts d'innovations. Quelles que soient les options retenues, ils devront les mettre en œuvre de manière à réduire ou au moins contenir les coûts de leur produit et leurs coûts d'exploitation.

Innovations

Tendances commerciales		Amélioration d'un système ou d'une fonction	Nouveauté commerciale
	Marché existant	- Hélicoptère écologique - Hélicoptère sûr - Hélicoptère convivial	- Hélicoptère hybrides rapides
	Nouveau marché	- Hélicoptère spécifique	- Aéromobiles - Hydroptères - Drones

Figure 18 : Principaux axes stratégiques d'innovation

2.2.1 Direction de recherche

Cette partie a pour objet la présentation des recherches générales dans le domaine aéronautique spécialisé des hélicoptères. Il s'agit pour les industriels de répondre aux attentes des consommateurs devenus plus exigeants, en produisant de nouveaux appareils plus sûrs, plus intelligents, plus silencieux et plus respectueux de l'environnement, ou tout simplement leur facilitant leur travail au quotidien. Les principaux axes de recherche et d'innovation visent essentiellement à [VUI 09] :

- l'amélioration de la sécurité (assistance aux fonctions dégradées, capacité anti crash)
- la simplification du pilotage (convivialité du cockpit, phases de vol automatisées)
- l'amélioration du confort (ergonomie, réduction du bruit, des vibrations)
- le respect de l'environnement (réduction de la consommation de fuel, des émissions de gaz, utilisation de matériaux verts ou recyclable)
- l'amélioration des performances (augmentation de la charge utile, de la manœuvrabilité, de la distance franchissable, , de la vitesse)
- les réductions de coûts (récurrents, non récurrents ou encore de maintenance)
- l'extension du domaine de vol (vol tout temps, protection contre la foudre, gestion des perturbations électromagnétique, insertion dans le trafic aéroportuaire)
- l'assistance aux missions spécialisées (réduction de la vulnérabilité, automatisation).

La présentation de quelques unes des principales pistes d'innovation et de solutions techniques envisagées a pour but de mettre en lumière la variété de possibilités de développement entre lesquels les hélicoptéristes doivent choisir.

2.2.1.1 Sécurité du vol

La direction fondamentale d'amélioration de l'hélicoptère est la sécurité des vols. 550 accidents d'hélicoptères tuant environ 70 personnes endeuillent en moyenne chaque année les hélicoptéristes. Toutes les 100 000 heures de vol, huit crashes surviennent, tuant une personne [DED 08]. Dans l'absolu, ce nombre peut sembler faible comparativement aux 40 000 personnes tuées sur les routes européennes dans la même période, soit environ 11 tués par milliard de km parcourus [IRT 09]. Même faible ce nombre impacte fortement la réputation des firmes dont les ventes peuvent en subir les conséquences.

Les pertes humaines sont de moins en moins tolérées par la société. Les accidents sont perçus comme des drames évitables. L'industrie automobile a évolué en ce sens et chacun s'attend à ce que des efforts au moins identiques soient faits dans le secteur aéronautique. Les accidents d'avions sont plus largement médiatisés que les accidents d'hélicoptères. D'une part ils tuent plus de personnes d'un coup, d'autre part ils tuent des usagers « innocents » ne travaillant pas dans cette industrie tandis que les hélicoptères tuent le plus souvent des professionnels (pilote, naviguant...) dont la responsabilité dans le crash peut avoir été engagée. Pourtant, l'aviation civile compte moins d'une trentaine d'accidents, soit environ 20 fois moins que les hélicoptères. Quantitativement, les hélicoptères tuent environ 400 personnes par an [BEA 09], soit moins en nombre mais plus en pourcentage que les avions, mais surtout ils tuent leurs clients. Même en omettant l'aspect moral et les responsabilités des hélicoptéristes, les dédommagements financiers des pertes humaines deviennent trop lourds pour les compagnies. La judiciarisation de la société, en particulier américaine, conduit à des procès dans lesquels les Indemnités versés se comptent en millions d'euros. L'accident d'un AS350 dans lequel une américaine avait été brûlée gravement à coûté 38M\$ à Eurocopter. Dans le même registre économique, l'évolution de la réglementation contraint les hélicoptéristes à anticiper les contraintes en lançant dès à présent des projets innovants pour pouvoir rendre conformes et commercialiser leurs futurs appareils. Sous la pression de l'opinion publique, l'organisme international regroupant les industries opérant des hélicoptères crée en 2006, l'IHST (International Helicopter Safety Team), a fixé un objectif ambitieux de 80% de réduction des accidents d'hélicoptères en 2016 [IHS 09]

Les accidents sont dus à plusieurs facteurs, qui sont autant de piste d'innovation. Les principales visent ainsi à réduire les erreurs de pilotage, garantir la survivabilité en cas de crash et protéger les hélicoptères de certains événements météorologiques.

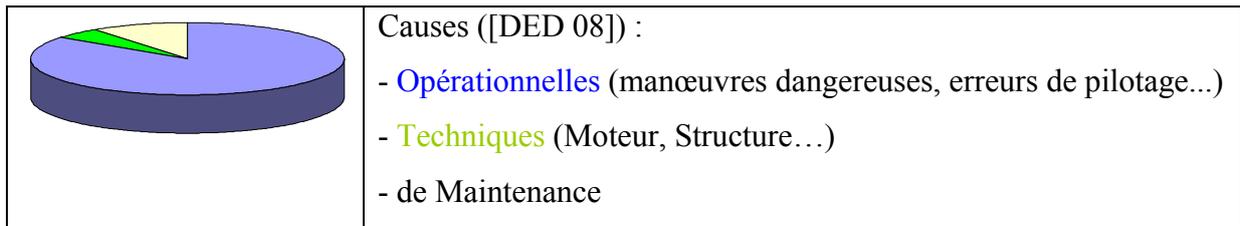


Figure 19 : Principales causes d'accidents d'hélicoptères

Une première direction d'innovation vise à limiter le nombre d'accidents dus aux erreurs humaines. Des équipements intelligents veulent dans l'avenir décharger le pilote d'une partie de ses fonctions pour lui permettre d'être plus vigilant. Les pilotes d'hélicoptères classiques ne disposent actuellement que de peu de systèmes automatiques de pilotage. Il s'agit par exemple d'installer des détecteurs de proximité pour éviter les collisions ou de simplifier la lecture des tableaux de bords pour améliorer l'anticipation des défaillances mécaniques, réduire les perturbations dues au fausses alarmes, aider à rester dans l'enveloppe de vol.

Une deuxième direction d'innovation vise à améliorer la survivabilité des passagers en cas de crash. Les recherche sont principalement orientés vers la limitation des chocs ressentis par les passagers, en particulier au niveau de la tête [HAN 89], et la réduction des risques de feu post crash, qui sont une cause majeure de décès survenant lors d'un accident. Les sièges anti-crash [JAR 09], la pose d'airbags, le design des réservoirs double peaux, les dispositifs de coupure du circuit carburant, l'implantation d'extincteurs sont par exemple conçus en ce sens.

Une dernière direction d'innovation vise à minimiser les risques induits par des phénomènes aérologiques dangereux pour les hélicoptères, comme la foudre ou le givre qui modifie le profil de pale et dégrade la portance au point de pouvoir entrainer la chute de l'appareil. De nouveaux capteurs de mesure de la vitesse de l'air basés sur des lasers, permettent de connaître rapidement les perturbations pour en déduire une attitude à adopter pour y échapper, des dégivreurs intégrés dans les pales sont des exemples d'innovations à développer.

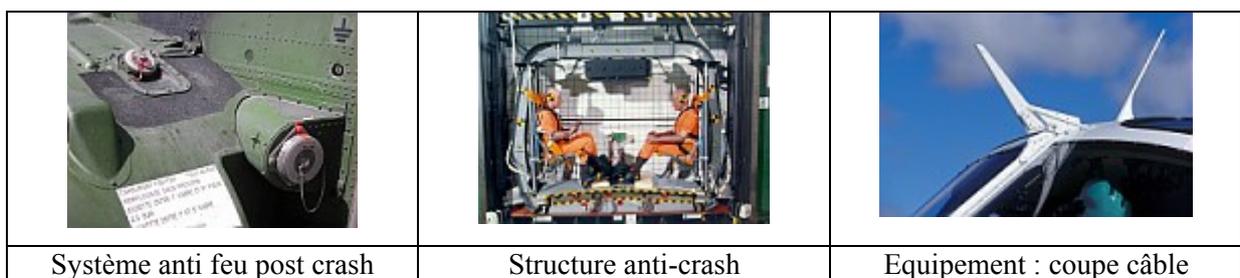


Figure 20 : Innovations visant à améliorer la sécurité

2.2.1.2 Simplicité d'utilisation

Les retours des clients sur l'usage de l'hélicoptère incitent les hélicoptéristes à diriger leurs efforts innovants de manière à rendre leur produit plus convivial. La simplicité d'utilisation se comprend en termes de support et service pour répondre aux attentes des opérateurs, d'ergonomie pour répondre aux pilotes et de confort pour répondre aux passagers.

Ils attendent que le maniement de leurs produits soit intuitif et que les mécanismes se fassent oublier pour n'être plus que fonctionnels. Dans un monde épuré, il est de plus en plus difficile aux usagers des hélicoptères d'accepter les nuisances mécaniques (bruits, vibrations, complexité de maintenance...).

		
Exploitation des opérateurs (ex Travaux aériens)	Facilitation du pilotage (ex Tableaux de bords)	Confort des passagers (ex Ergonomie de la cabine)

Figure 21 : Directions d'innovations centrées sur le client

- **Simplicité d'exploitation par les opérateurs**

La disponibilité des appareils est un facteur clé de vente. Sans elle, impossible d'amortir l'investissement. A coût machine équivalent, la réduction du temps d'immobilisation et la facilité de la maintenance sont les axes clés des recherches visant à séduire les opérateurs.

Une première direction d'innovation est technique. Elle concerne la robustesse des appareils d'une part et leur aménagement de l'autre. Les durées de vie doivent s'accroître afin de limiter le nombre de pannes et d'interventions nécessaires. Dans le même temps, la modularité des machines doit être améliorée pour réduire les temps d'aménagements et intégration d'équipement entre deux missions. Les concepts de monospace convertible, avec sièges rabattables, pivotants sont par exemple explorés.

Une seconde direction d'innovation est organisationnelle. Il s'agit d'inventer des méthodes de gestion support à la clientèle permettant d'optimiser la qualité du traitement des incidents de la clientèle.

Une troisième direction d'innovation est commerciale. Les constructeurs devraient à l'avenir vendre la disponibilité de leur hélicoptère, et non plus l'hélicoptère lui-même, comme les agences de locations louent l'utilisation d'une voiture, qu'elle change en cas de problème. Ainsi, les hélicoptéristes pourraient se présenter comme des sociétés de service.

Une quatrième direction est informatique. Les hélicoptères doivent devenir intelligents pour réduire le temps d'intervention humaine nécessaire à une réparation. Des recherches sont conduites pour faciliter le diagnostic des mécaniciens, pour les assister. D'autres sont orientées vers la prévention pour alerter les opérateurs avant une panne, leur permettant de s'organiser au mieux..

- **Simplicité de pilotage par les navigants**

Les pilotes connaissent des phases de vol intenses pendant lesquelles ils doivent gérer un nombre très important d'informations pour assurer le vol. Réduire leur charge pendant ces phases critiques est leur attente majeure. Elle s'accompagne par une demande d'amélioration des conditions de pilotage (température, bruit ...), qui permet de diminuer leur stress. Les projets d'innovations ont pour objectifs l'assistance au pilotage et l'ergonomie du poste de travail. Les hélicoptéristes espèrent séduire de nouveaux clients privés, actuellement rebutés par la complexité du pilotage.

La première direction d'innovation est l'ergonomie du poste de travail. Il s'agit d'améliorer l'interface homme / machine du poste de pilotage. Les informations présentes sur le tableau de bord et leur disposition peuvent être repensées, des choix d'affichage peuvent être proposés pour simplifier la gestion des alarmes.

La seconde direction d'innovation est le développement de pilotes automatiques plus sophistiqués. Il s'agit de les faire dialoguer avec les tours de contrôles pour soulager les pilotes en approche de zones à fort trafic, de les rendre assez intelligents pour anticiper des trajectoires, proposer des corrections, prendre en compte les reliefs environnant. Il s'agit également de les faire participer plus activement aux missions, en programmant des scénarii, en gérant des équipements

La troisième direction d'innovation est le conditionnement d'air de la cabine. Les pilotes se plaignent souvent de mauvaises climatisations, quand elles équipent les appareils, à l'heure ou toutes les voitures en ont.

La quatrième direction est la standardisation des gammes. Les hélicoptères sont des véhicules nécessitant un apprentissage. Leurs différences varient suffisamment d'un modèle à un autre, pour que la réglementation impose aux professionnels d'être qualifiés pour chaque modèle. Harmoniser les gammes, comme l'a fait Airbus simplifierait la vie des pilotes.

- **Confort des passagers**

Comparativement au confort des voitures actuelles, les hélicoptères sont des véhicules rustiques. Les exigences de confort et de qualité de vie augmentant, il devient nécessaire aux hélicoptères de s'aligner avec les autres moyens de transport et du service offert.

La première direction d'innovation est la réduction des niveaux sonores et vibratoires. Le rotor, principale source de vibration, transmet au fuselage des forces instationnaires dont la prévision reste très difficile. Il s'agit de concevoir un hélicoptère de telle façon que leur fréquence ne corresponde pas aux fréquences des modes propres de l'hélicoptère, pour éviter les phénomènes de résonance. Une solution pour réduire les bruits internes peut être d'habiller la cabine par des panneaux passifs (amortissement du bruit) ou actifs (générant une contre vibration des bruits). Une autre solution peut être d'intégrer des volets dans les bords de fuite. Ils réduisent les tourbillons, les éloignent de la pale suivante [CAF 09].

Une seconde direction est le traitement de l'atmosphère de la cabine. L'adaptation de l'agencement intérieur aux missions des clients, la qualité des finitions, les possibilités de connexions des appareils multimédias. sont autant d'atouts que les futurs équipements doivent développer. Ces innovations sont souvent celles des sociétés sous traitantes des hélicoptéristes, car elles ne relèvent pas directement de leur cœur de métier. Cependant ils se doivent de suivre les évolutions pour collaborer efficacement avec leurs partenaires.

Une troisième direction d'innovation est l'ergonomie des hélicoptères. L'accessibilité de la cabine, sa luminosité et sa vision sur l'extérieur, le volume disponible par passager, la facilité de rangements des bagages, sont autant de sources d'innovations possibles (des marches pieds, l'intégration de signalétique lumineuse...)

2.2.1.3 Respect de l'environnement

Les préoccupations relatives au respect de l'environnement sont partagées par la société dans son ensemble. Le sommet de Copenhague a ainsi réuni 192 pays en 2009, 184 d'entre eux ayant déjà signé le protocole de Kyoto. L'engagement écologique indique clairement l'orientation des initiatives que les industriels doivent prendre. Les hélicoptéristes n'y échappent pas. Tous doivent suivre la tendance sous peine d'être exclus de la compétition. A tous les niveaux de l'industrie, les acteurs sont concernés [WOR 09].

Les actionnaires ont besoin d'afficher une dimension écologique pour que l'entreprise soit intégrée dans des Index (dow Jones sustainability Index...) et puisse bénéficier du cash apporté par les fonds d'investissements qui deviennent éthiques. Faute de reconnaissance des efforts consentis pour préserver l'environnement, le taux de rentabilité pourrait baisser.

Les clients privés (Bristow,...) ont besoin des performances vertes de leur hélicoptères pour communiquer sur le caractère écologiquement responsable de leur société. Sans offre écologique face à des concurrents qui en proposeraient, les parts de marché s'effondreraient. Sikorsky et Agusta, les deux principaux rivaux d'Eurocopter annoncent déjà leurs ambitions.

Les organismes officiels, parapublics ou militaires partagent les préoccupations des opérateurs privés. Les gouvernements, sensibles aux volontés de leurs électeurs, peuvent interdire les ventes dans leur pays en cas de non respect de leurs normes environnementales (norme ISO14001...).

Les organismes non gouvernementaux (Greenpeace, WWF...) ont un fort impact sur l'opinion. Les opérateurs doivent entretenir des relations de confiance pour ne pas être exposés lors d'une campagne de sensibilisation à la cause de la planète.

Les médias peuvent également faire ou défaire les réputations des sociétés. Dans la presse ou sur le net (actioncarbone.org ...), les informations tendent à renforcer les convictions de l'opinion plus apte à placer ses fonds dans des fonds éthiques.

Les fournisseurs sont des sociétés qui sont impactées comme toutes les autres. Elles se doivent d'agir dans la même direction. Pratt et Whitney a par exemple annoncé des efforts pour développer de nouveaux moteurs dont la consommation de carburant est réduite.



Figure 22 : Affichages des volontés écologiques

Pour mettre en œuvre la volonté de réalisation d'hélicoptères plus écologiques, plusieurs leviers sont envisageables. Le plus important est évidemment technique : trois principales directions d'innovation s'imposent, la quatrième retenue est organisationnelle.

La première direction d'innovation a pour objectif la réduction de la consommation de carburant et des émissions de dioxyde de carbone ou monoxyde d'azote. Elle peut être obtenue par exemple en concevant de nouvelles structures plus légères, en optimisant toujours plus l'aérodynamisme, et en particulier du rotor qui induit presque 30% de la trainée des hélicoptères, en gérant mieux les échanges énergétiques ou en intégrant des systèmes de contrôle des trajectoires qui pourraient aider les pilotes à voler plus écologiquement. Mais la question de la motorisation prime. En attendant des carburants alternatifs, les hélicoptéristes envisagent des moteurs diesel ou électrifiant les équipements. Par exemple dans les trains d'atterrissage, les vérins hydrauliques peuvent être remplacés par des vérins électriques.

Une deuxième direction de recherche vise la prise en compte dès la conception d'un cycle de vie global des nouvelles pièces. Depuis les matériaux dans lesquelles elles seront fabriquées, jusqu'aux consommations énergétiques des procédés utilisés pour les produire (passage dans des fours, traitements chimiques, découpage...), de leur durée de vie à leur recyclage et par la suite à leur stockage sous forme de déchets, un bilan énergétique global des pièces doit être évalué.

Une troisième direction de recherche ambitionne la réduction de bruit. Chaque fois qu'une pale interagit avec les tourbillons créés par les pales précédentes, un "flap flap" caractéristique

broyant est généré. La maîtrise de l'intensité du tourbillon et sa trajectoire peuvent aider à le diminuer. Une solution est de concevoir de nouvelles géométries de pales. Par ailleurs, des pistes de réflexions concernent l'optimisation des outils de calculs pour faciliter la prédiction de bruit au plus tôt, la modification des procédures de vol pour réduire la perception de l'appareil, l'intégration des entrées d'air ou encore le contrôle des vibrations pour améliorer son profil aérodynamique.

La quatrième direction d'innovation est organisationnelle. Elle ne génère pas directement des innovations, elle participe indirectement à soutenir les projets d'innovations techniques en impliquant tous les services. Par exemple la qualité peut inclure le respect de critères écologiques dans ses procédures. Les achats peuvent ne se négocier qu'avec les fournisseurs suffisamment respectueux des directives écologiques. Les services de support à la clientèle peuvent intégrer le recyclage des pièces usagées dans leurs activités (composants électroniques, résines, ...). Même le service juridique peut participer en s'attachant à suivre les évolutions écologiques des lois et trouver des opportunités pour l'entreprise de se distinguer (paiement de la taxe carbone,...).

			
Réduction de trainée	Nouveaux matériaux	Nouvelle géométrie	Nouveaux process

Figure 23 : Directions d'innovations écologiques

Si les considérations écologiques sont unanimement affichées dans la société, les clients ne semblent pas prêts à payer pour bénéficier d'hélicoptères performants au regard de l'environnement. Les études de marché réalisées par Eurocopter [TAP 08] montrent qu'un écart de prix trop important avec les modèles actuels bloquent les ventes.

2.2.1.4 Amélioration des performances

Dans une compétition frontale, les concurrents se distinguent par des avantages compétitifs permettent de se différencier, ou par les coûts réduits des produits et des services qu'ils proposent. Selon que les hélicoptères sont civils ou militaires, les performances attendues par les clients varient et sont autant de directions de recherche. Les principales sont présentées ci-après.

Pour les appareils civils, la direction majeure de recherche qui se dégage est la vitesse. Augmenter la vitesse des hélicoptères exigeant de modifier leur architecture, cette direction de recherche sera commentée dans le paragraphe suivant. Pour les appareils militaires, la furtivité est un axe de recherche permanent. La détection des hélicoptères, aussi bien par les radars que par les détecteurs de rayonnement infrarouge ou radar, doit être rendue la plus difficile possible. Il est pour cela nécessaire de mettre au point des matériaux absorbant les ondes radar, y compris pour les rotors, et de maîtriser la direction et la température de l'air issu du flux des turbomoteurs. Par ailleurs, la qualité de l'armement embarqué est un atout de vente certain. Il s'agit de laisser le choix des armes en fonction de la mission par exemple, de faciliter la gestion des armements, grâce à des logiciels configurables et des interfaces conviviaux.

Pour l'ensemble des appareils, qu'ils soient civils ou militaires, les caractéristiques pouvant faire la différence lors d'un achat, sont essentiellement les coûts. Les coûts à réduire regroupent le coût direct d'achat, le coût d'exploitation aussi bien le coût de maintien en conditions opérationnelle. Alors que celui des avions militaires a été stabilisé, celui des hélicoptères explose [SEN 05]. Cette démarche demande non seulement des innovations technologiques (nouveaux matériaux, simplification dès la conception...), mais également des démarches industrielles (nouveaux process, nouvelles gestion des achats,...). Ces changements sont ambitieux et sont une préoccupation permanente dans l'ensemble des projets d'innovation. Construire un hélicoptère low cost n'est pas un projet en soit, mais une démarche d'entreprise générale. En fonction de son tonnage et des missions qui lui seront confié les propositions varient. Il y a 35 ans, l'écureuil a été conçu dans cette optique de coût réduit. Actuellement, malgré l'évolution des technologies, il semble encore trop tôt pour le concurrencer, les sommes à dépenser pour lancer un nouveau produit ont dans le même intervalle de temps augmenté de manière significative. Par contre des simplifications de

pièces, une construction différente du réseau des fournisseurs pourraient entraîner des baisses de coût significatives pour les appareils de gros tonnages.

2.2.1.5 Autonomisation

Dans tous les domaines, le sens de l'évolution générale des équipements est l'autonomie. Les tâches pénibles sont automatisées, comme les tâches répétitives ou dangereuses pour les humains. Les hélicoptères n'échappent pas à cette tendance.

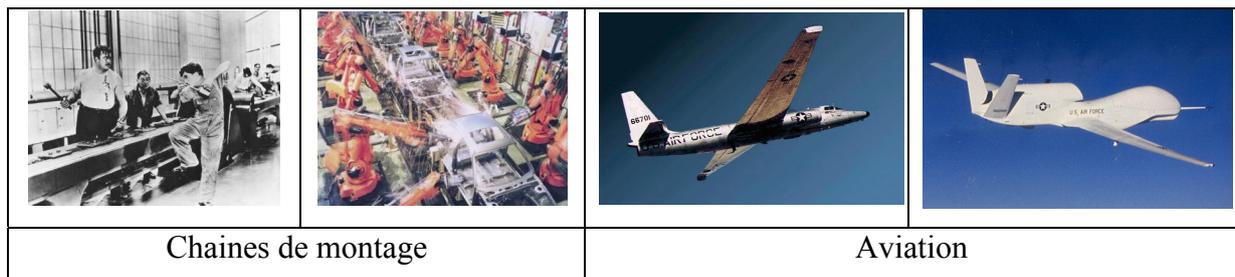


Figure 24 : Vers plus d'autonomie des équipements

Les drones sont des aéronefs capables de voler sans présence humaine à bord. Derrière le mot drone, il faut en fait entendre le couple drone – support terrestre, et non de l'appareil seul. Nombre de missions militaires d'observation et de transport tactique jusqu'alors confiés aux hélicoptères sont désormais assurées par des drones. Les missions de travaux aériens (de recherche, de surveillance policière, du trafic routier, des lignes électriques, ...) sont amenés à l'être à plus long terme essentiellement pour des raisons de coûts. les drones sont bien moins onéreux que les hélicoptère. Leur conception est plus aisée que celles des hélicoptères car les contraintes de sécurité des personnes embarquées n'existent pas et leurs dimensionés ne dépendent que des équipements. Cependant ils ne remplaceront pas l'hélicoptère pour les missions justifiant un jugement humain. Réciproquement, les hélicoptères limitent la pénétration des drones, en acquérant eux aussi la capacité d'être autonomes. Les directions de recherche actuellement envisagées par les hélicoptéristes [VIN 09] sont

- le pilotage automatique 4 axes (roulis, lacet, tangage et puissance). Les futures générations doivent pouvoir atterrir et décoller sur terre ou apponter.
- Le système de gestion du véhicule, la gestion de test, le suivi de l'usage et les limitations d'utilisation. Les pannes doivent pouvoir être automatiquement compensées (un système de pronostic des pannes puis de diagnostics doit être développé)
- Le système de gestion du vol, les jauge carburant, la localisation

- La détection d'obstacles, la gestion de l'environnement physique extérieur
- L'acquisition et la mise à jour de données tactiques en situation doit devenir

A ce jour la politique de développement de drone reste confuse pour Eurocopter. La filiale Defense and Communication System est l'entreprise du groupe positionnée sur ce marché. Et propose un premier drone (Orka 1200).



Figure 25 : Exemples de drones en vol stationnaire

2.2.2 Les nouvelles formules

Le terme « nouvelles formules » peut prêter à confusion. Très tôt dans l'histoire de l'hélicoptère de nombreuses architectures ont été imaginées. Pour des raisons de manque de connaissances théoriques du vol, puis de maturité technologique insuffisante, elles n'ont pas toutes été parachevées par la commercialisation d'un appareil. Elles sont alors restées à l'état de prototype. Certaines sont actuellement de nouveau développées car les évolutions de différentes technologies ont permis de dépasser les obstacles qui jadis bloquaient. Elles sont désormais réalisables industriellement. Il n'est pas question dans ce paragraphe d'exposer toutes les formules ayant été explorées, mais de présenter celles pouvant aujourd'hui susciter un intérêt pour les industriels. [VER 06]

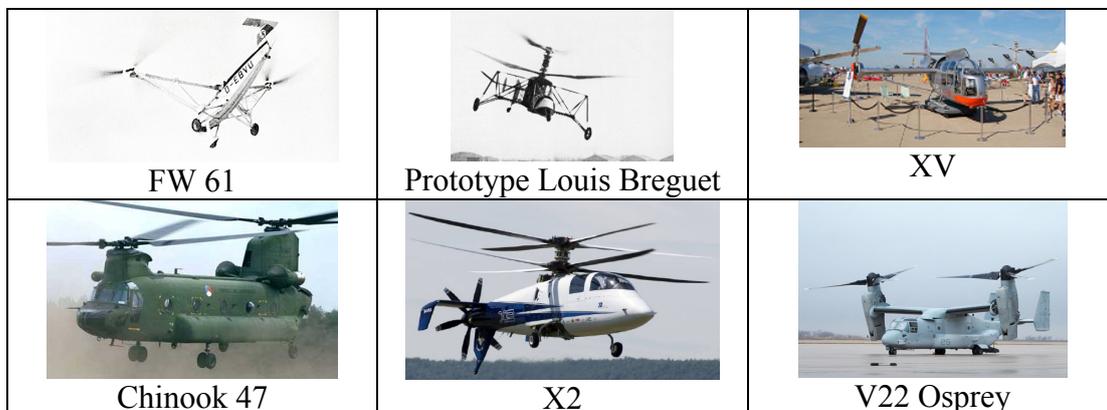


Figure 26 : Exemples d'évolution des formules

L'objectif des hélicoptéristes étant d'augmenter leurs ventes, trois stratégies commerciales s'offrent à eux :

- Les premières visent à prendre des parts de marché aux concurrents. Les futurs appareils assurent les mêmes fonctions que les hélicoptères actuels, mais leurs performances sont accrues. Le critère de vitesse ayant été identifié comme un facteur clé d'achat, les hélicoptéristes explorent actuellement des formules rapides.
- Les secondes espèrent élargir le marché actuel en attirant de nouveaux clients. Les futurs hélicoptères offrent de nouvelles fonctionnalités leur permettant de séduire des clients hors du marché actuels. Le critère de coût est actuellement le critère limitant le nombre de clients, la préoccupation majeure des hélicoptéristes est de réduire les coûts (d'achats, d'utilisation, de maintien en condition de vol...).
- Les dernières visent à changer de marché. Nombre de missions actuellement confiés aux hélicoptères seront remplies à terme par des drones. C'est le cas par exemple de missions de surveillance qui ne requièrent pas toutes une présence humaines à bord (chapitre 5). Se positionner sur le marché prometteur des drones est une opportunité à saisir et une nécessité pour ne pas être un jour dépassé

Le choix des industriels de prioriser une formule plutôt qu'une autre est un acte hautement stratégique qui conditionne tous les efforts d'innovations de l'entreprise. Ce premier chapitre présente les possibilités. Les critères de choix permettant de sélectionner les projets d'innovation seront discutés ultérieurement.

2.2.2.1 Les formules rapides

Actuellement la compétition est centrée autour de la conception d'une formule d'hélicoptère rapide. Des clients importants (opérateurs pétroliers) sont par exemple intéressés pour rallier leurs sites de production éloignés au plus vite, ou augmenter leur nombre de rotations pour augmenter leur productivité. La raréfaction du pétrole les rend aujourd'hui prêts à payer.

Depuis les années 50 des recherches expérimentales ont été lancées, sans jamais pouvoir aboutir à un appareil commercialisable, faute de connaissances scientifiques ou de maturité technologique. Aujourd'hui les hélicoptéristes ont tous la volonté de les inclure dans leur gamme. Certains ont identifiés la vitesse comme un avantage compétitif, d'autres suivent pour

ne pas être distancés. Quand Boeing a rejoint Bell pour la finalisation des V22, Sikorsky a entrevu la menace d'une concurrence pouvant imputer sérieusement ses parts de marché. Sensible aux espérances de performance de ses principaux clients (les militaires américains) il a démarré son propre programme d'hélicoptère rapide (X2), sans attendre de savoir si le projet des concurrents avait réellement une chance d'aboutir. Agusta s'est associée avec Bell pour développer une version civile de convertibles et Eurocopter assure une veille technologique pour éventuellement rentrer dans la compétition et conserver son rôle de leader. Ce paragraphe synthétise l'histoire des principaux appareils en développement, qui ont toutes les chances d'être les produits innovants sur lesquels s'affronteront les hélicoptéristes.

Les hélicoptères permettent une grande variété de mouvements mais ne peuvent pas voler très vite. Au-delà de 350 kilomètres/heure, les pales avançantes subissent de fortes ondes de choc et les pales reculantes de forts décollements : la vitesse en bout de pale ne peut excéder la vitesse du son. Par ailleurs la force aérodynamique est générée par la rotation du rotor. Pour augmenter sa composante horizontale et avancer il doit s'incliner, or ce faisant, il génère de la traînée qui freine l'hélicoptère. Enfin la rotation des pales crée une zone de portance nulle

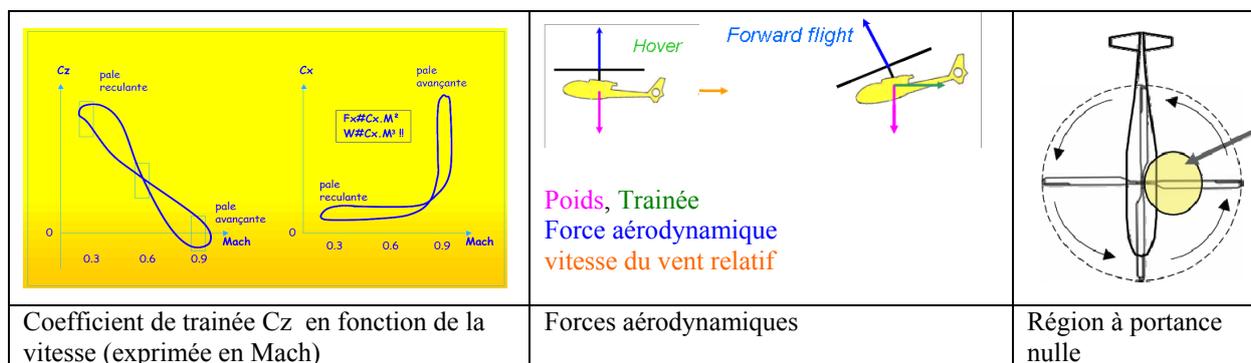


Figure 27 : Principales causes de limitations de la vitesse des hélicoptères

Pour éviter ces phénomènes, des modifications dans l'architecture des hélicoptères doivent permettre de voler à des vitesses rotor réduites, de ne pas absorber trop de puissance horizontale en avancement, ou de compenser la zone de portance nulle. Le vocable « formule rapide » désigne un hélicoptère dont l'architecture a été modifiée pour accroître sa vitesse d'avancement. Ils ne ressemblent plus exactement aux hélicoptères traditionnels.

Certaines formules d'hélicoptères ont un rotor pouvant basculer de 90°. Ce basculement permet à l'appareil d'allier la manœuvrabilité des hélicoptères à basse vitesse et la vitesse de croisière plus élevée des avions. Ces formules sont dites « convertibles ». C'est le concept

retenu par Bell pour fabriquer ses V22. Ces appareils convertibles ont commencé à être produits en série aux Etats-Unis, puis en Europe.

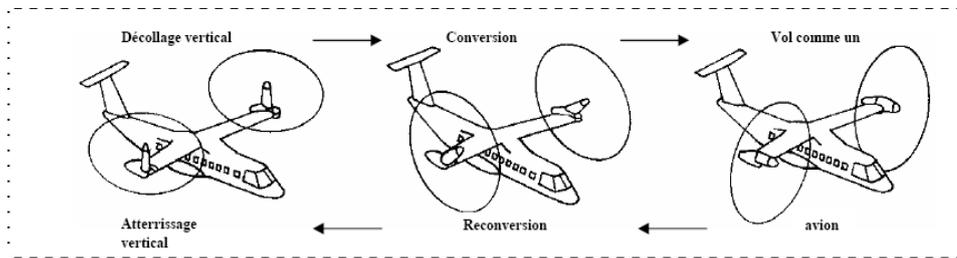


Figure 28 : Principe de fonctionnement d'un convertible

Les autres formules intègrent de petites ailes et des hélices, orientées en permanence à 90° du rotor à la manière des avions. Certaines sont propulsives, d'autres le tractent. Elles fournissent une partie de la force aérodynamique globale, permettant au rotor d'être moins incliné à vitesse égale par rapport à un hélicoptère classique. Ces formules sont dites « combinées ».

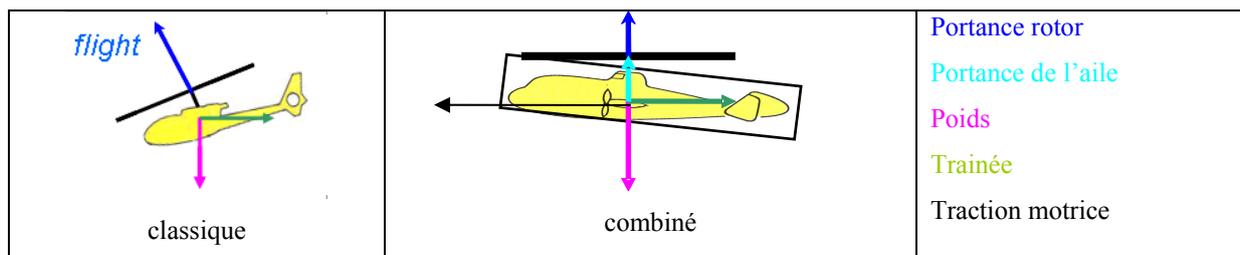


Figure 29 : Vol d'avancement d'un hélicoptère

Il est également possible d'utiliser le principe des rotors coaxiaux pour palier à la perte de portance sur la pale reculante, d'utiliser des concepts d'autogyres ou tout autre solution résolvant les problématiques du vol. Les pages suivantes présentent les projets actuels

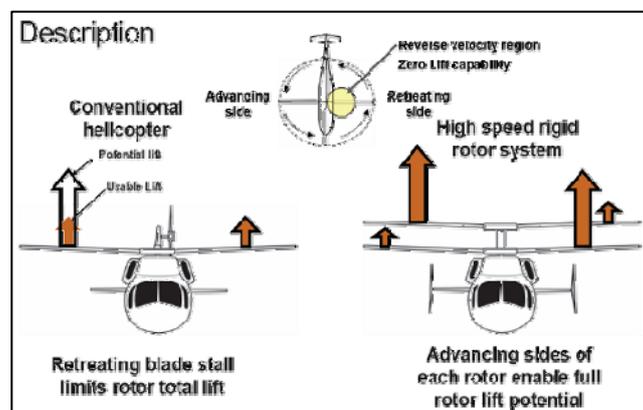


Figure 30 : Principe de sustentation d'un hélicoptère à rotors coaxiaux

Les différentes formules actuelles rapides en concurrence

			
BA 609 Bell	X2	X-49A SpeedHawk	X3
Bell /Agusta Westland	SIKORSKY	PIASECKI	Eurocopter

Figure 31 : Formules rapides concurrentes

- **BA 609**

Le Bell/Agusta BA609 est un convertible bimoteur à rotors basculants (« Tilt rotor »). Il peut à la fois décoller, s'élever et atterrir comme un hélicoptère et se comporter en vol comme un avion. Sa vitesse de croisière sera supérieure à 260 kt et son rayon d'action avoisine les 1400 km. [AGU 09] Cette formule est à priori la plus attractive, car elle cumule les avantages des avions et des hélicoptères, cependant elle cumule également les inconvénients. L'optimisation des pales est délicate. Le fonctionnement en tant qu'hélice impose un faible diamètre rotor. Ainsi, le convertible est un avion et un hélicoptère aux performances médiocres, les pales n'étant véritablement dimensionnées pour aucun des deux. Ensuite l'intérêt de la formule étant d'aller vite, l'appareil doit voler à haute altitude. Ceci implique une pressurisation qui l'alourdit et augmente son prix de vente. Enfin la coexistence des fonctions avions et hélicoptères implique une complexité mécanique qui impacte sa maintenance. Aussi séduisantes que ses performances puissent paraître au premier abord, son prix d'achat, son prix de revient pour être maintenu en condition opérationnelle et sa consommation risquent de pénaliser ses ventes. Malgré tout, les performances des appareils sont inégalées et offre aux clients des solutions qu'aucun autre ne peut leur procurer.

- **X-49A SpeedHawk**

Le Piasecki X-49 est un Sikorsky YSH-60F Sea Hawk qui a été équipé de petites ailes et d'un système propulsif réalisée à partir d'une hélice carénée. Ce système de propulsion est appelée VTDP pour Vectored Thrust Ducted Propeller. Les avantages de cette formule sont de ne pas nécessiter d'entraînement supplémentaire, le rotor étant couplé avec l'hélice qui fait office de rotor arrière en même temps que de propulseur. La solution est très peu pénalisante en poids. Les ailes augmentent la portance et en lui permettant de voler comme un avion, l'autorise à

réduire la vitesse de rotation des pales. Le X49 est une formule simple car elle assemble des composants de technologies matures et maîtrisées. Le remplacement du rotor arrière par le VTDP impose la place du propulseur qui se retrouve malheureusement dans le sillage du fuselage. Cette position est pénalisante pour le comportement dynamique de l'hélice. Les manœuvres sont délicates dans les phases de vols stationnaires ou à très basse vitesse, car le VTDP, ne doit plus délivrer de poussée et n'être qu'un rotor arrière. De plus, son implantation à l'arrière de l'appareil entraîne des difficultés de centrage.

- **X2**

Le X2 est hélicoptère à rotors coaxiaux expérimental de 2,5 tonnes développé par Sikorsky. Il est équipé d'un propulseur auxiliaire arrière lui permettant d'atteindre des vitesses de croisière d'environ 250kt, soit le double de celles des hélicoptères classiques. La formule du rotor coaxial présente plusieurs avantages. Le mouvement contrarotatifs des deux hélices annule les effets gyroscopiques et permet de supprimer le rotor arrière remplissant habituellement cette fonction. La compensation des dissymétries de portance entre les pales avançantes et reculantes offre une augmentation de portance. Les performances en stationnaire s'en trouvent améliorées d'une part, et la vitesse de rotation du rotor peut être réduite, au profit notamment de la vitesse d'avancement. Cependant c'est un inconvénient d'avoir le système de propulsion dans le sillage du fuselage, ce qui le rend moins performant. C'est également un désavantage que d'imposer de fortes charges et contraintes vibratoires aux rotors et à l'hélice propulsive dans certaines phases de vol, et de présenter des risques d'interaction entre les deux rotors rendant l'appareil dangereux lors de manœuvres violentes.

- **X3**

L'hélicoptère X3 d'Eurocopter est un hélicoptère hybride, équipé de deux hélices portées par des ailes. La puissance est transmise entièrement au rotor en phase de décollage, puis transférées progressivement aux hélices pour assurer le déplacement horizontal de l'appareil. En vol d'avancement à pleine vitesse, la presque totalité de la puissance est transmise aux hélices. Son ambition est d'offrir aux clients un compromis optimisé entre le convertible (très rapide mais très cher) et un hélicoptère classique (moins onéreux mais plus lent). Des versions « canards », inspirées par les avions de ce type, sont envisagées pour leur design futuriste et fonctionnel. Le projet, conduit par le département Innovation d'Eurocopter a été un des objets d'étude de cette thèse.

2.2.2.2 Les formules insolites

			
MIT Terrafugia transition flying car	VZ-8 Airgeep Piasecki	Aéroglesseur militaire	"hélicoptère" version BTP

Figure 32 : Illustrations de formules insolites

- **Les plateformes volantes**

Le concept d'aéromobilité nait du cumul des fonctions assurées par les voitures et les hélicoptères. Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, les militaires américains ont lancé plusieurs programmes de recherche pour offrir aux troupes un véhicule polyvalent mais ils n'ont jamais abouti. Les recherches ont été abandonnées dans les années 60 pour n'être reprises que dans les années 2000, les connaissances aérodynamiques, les moyens de calculs et les matériaux ayant suffisamment évolués. La société israélienne Urban Aeronautics Limited développe actuellement une machine, la X-Hawk, qui reprend la formule de l'Airgeep de l'époque. Il est annoncé comme un véhicule équipé de volets sur et sous les rotors permettant au pilote de le diriger, modulable et capable de nombreuses configurations [URB 09]. Le temps d'apprentissage du pilotage, le prix de l'appareil et sa consommation rendent incertaine son avenir économique. Pour l'instant cette incertitude n'incite pas les grands constructeurs à focaliser leurs efforts vers cette formule.

- **Les aéroglesseurs**

Dès le début de l'aviation les ingénieurs ont cherché à profiter des phénomènes d'effets de sol. En ce qui concerne les voilures tournantes, le principe du coussin d'air dont sont pourvus les aéroglesseurs est le plus fréquent. D'un point de vue statique, une pression générée par un flux d'air dévié par une soufflante dans une enceinte plus ou moins close génère une portance. Leur marché est actuellement minime. La maîtrise des technologies rotors et des lois d'aérodynamique que possèdent les hélicoptéristes pourraient leur permettre d'investir ce marché s'il était amené à se développer. Pour l'anecdote, un aéroglesseur utilisé dans le secteur du bâtiment pour lisser le béton des dalles en construction est appelé l'« hélicoptère ».

2.2.3 Analyse des pistes d'innovation

L'innovation a pour but de réaliser de nouveaux produits ayant une valeur ajoutée pour les clients. La motivation d'achat est essentiellement économique, en particulier pour les clients civils. Pour assurer leurs ventes, les hélicoptéristes ont le choix de développer des produits aux rapports coûts / services / performance les plus attractifs possibles pour concurrencer frontalement leurs concurrents ou des produits aux particularités uniques pour se distinguer de leurs rivaux et attirer de nouveaux clients.

La première option paraît a priori moins risquée. Les hélicoptéristes bénéficient du retour d'expérience pour discerner les attentes réelles de la clientèle et peuvent s'appuyer sur des technologies matures pour assurer la faisabilité de leurs projets. Par ailleurs, le nombre de client étant limité, de par le prix élevé des appareils, les concurrents partagent une même clientèle plus qu'ils ne l'étendent en séduisant de nouveaux consommateurs. L'apparition d'un nouvel hélicoptère se traduit ainsi inévitablement par des pertes de ventes pour ceux qui occupaient déjà son segment de marché. Entrer en concurrence frontale avec un rival en offrant une alternative à un appareil en situation de monopole sur son segment s'avère toujours une stratégie gagnante: elle permet de retirer aux concurrents une niche sur laquelle ils prospèrent, de garantir l'amortissement des investissements par un seuil minimal de vente et de consolider la présence de l'hélicoptériste sur le marché en diversifiant sa gamme. A titre d'exemple, Eurocopter compte emporter avec l'EC175 la moitié des ventes réalisées par l'AW139 d'Agusta. Pareillement, Sikorsky a réussi avec son S92 à emporter la moitié du marché du Super Puma d'Eurocopter en position dominante depuis sa création, et Agusta-Westland pourrait à son tour s'inviter à partager les parts de marché avec la future version de l'EH101. Il est vraisemblable que dans une telle situation les hélicoptéristes, tous capables d'intégrer de hautes technologies en viendraient à se répartir en trois le marché.

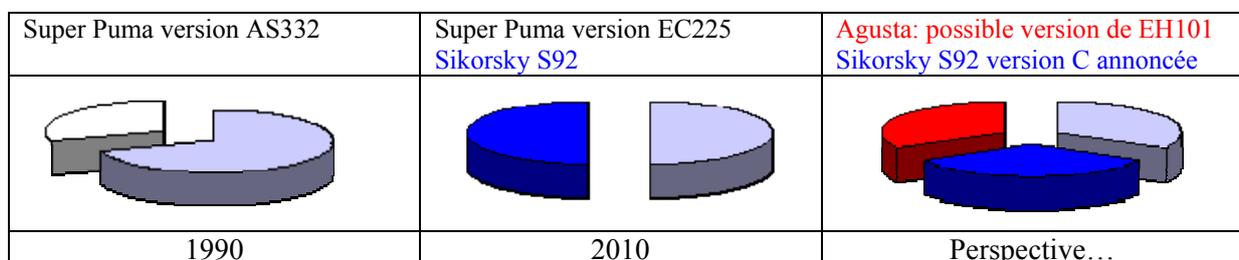


Figure 33: Illustration du partage du marché en fonction du nombre de concurrents

Cependant, réagir pour contrer la concurrence ou se protéger en développant de nouvelles versions de leurs appareils les plus rentables, ne permet de viser que des marchés très

restreints, car déjà partagés. S'il est indispensable aux hélicoptéristes de suivre cette démarche, ils ne peuvent s'en contenter. Construits à partir d'hypothèses semblables, les hélicoptères en concurrence sur un même segment offrent des performances et des gammes de prix voisines. En effet, les hélicoptéristes sont contraints de partager les mêmes fournisseurs, trop peu nombreux, et recourent de ce fait aux mêmes technologies. Comme ils achètent les deux tiers des pièces, leurs produits sont souvent similaires. Les hélicoptéristes pour se distinguer auprès de leur clientèle et éviter de la partager se doivent de proposer des appareils aux caractéristiques uniques. Ils recherchent ainsi des innovations de rupture technologiques, dans leur architecture comme dans leurs composants (rotor, avionique...).

Par exemple, les rotors actuels sont très semblables, car développés à partir de concepts et de technologies voisines : la majorité des rotors sont articulés en pas, battement et trainées, qui ont en règle générale recours à des butées sphériques et des amortisseurs. Deux équipementiers, Lord et Paulstra, se partagent le marché des hélicoptéristes occidentaux, les contraintes de certification et de qualité éloignant les autres. Ayant des fournisseurs communs les hélicoptéristes ne se différencient guère. De plus, les différentes technologies d'amortisseurs (hydro-élastiques, viscoélastiques ou entièrement hydrauliques) restent comparables. Pour acquérir un avantage compétitif, les hélicoptéristes cherchent actuellement à gagner en compacité. En effet, le rotor génère jusqu'à 15% de la trainée de l'appareil, et améliorer son aérodynamisme impacterait significativement les performances globales des hélicoptères. (Pour un appareil de type Super Puma, le moyeu avoisine le mètre de diamètre et s'élève d'autant des capots). Tous les grands hélicoptéristes ont identifié le même problème, et chacun maîtrise à peu près les mêmes technologies pour mettre en œuvre les mêmes solutions. Ainsi de nouveaux systèmes de repliage de pale, ou des géométries de manchons, permettant de réduire la trainée en autorisant le carénage, sont des exemples de solutions pouvant être finalisées en premier par le plus ingénieux des hélicoptéristes, sans toutefois lui procurer d'avantage concurrentiel à terme car les autres ont la capacité de s'approprier ses innovations plus ou moins rapidement.

Pour se différencier à plus longue échéance, les objectifs des projets innovants sont plus ambitieux et relèvent d'une véritable rupture. Il s'agirait de recourir à de nouvelles technologies plus difficilement appropriables par les concurrents. Par exemple, intégrer le premier des technologies de ruptures, ou s'appuyer sur les avancées aérodynamiques théoriques pour repenser le principe de fonctionnement du rotor demande des ressources financières conséquentes, qu'une simple mobilisation des esprits créatifs ne peut égaler. Par

exemple repenser l'intégralité du rotor en supprimant toutes les articulations mécaniques (projet de rotor homocinétique) ou faire passer son électrification d'un repère fixe à un repère tournant en rendant conductrices toutes ses pièces (à l'aide des nanotechnologies par exemple)

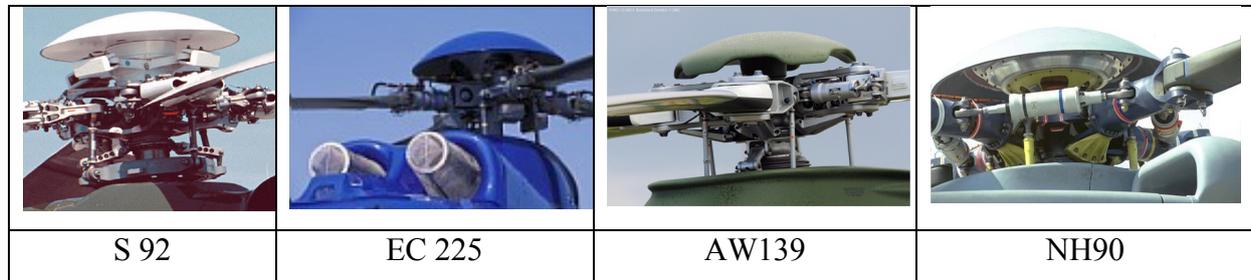


Figure 34 : Exemples de rotors

Ainsi, les hélicoptéristes doivent choisir entre innovations de rupture et amélioration continue des performances. Les risques et les investissements sont le prix à payer pour gagner durablement une avance technologique sans laquelle ils sont contraints de suivre le mouvement imposé par d'autres. La stratégie vise à accumuler suffisamment de trésorerie pour lancer et faire aboutir les programmes de recherche. Les américains recherchent plutôt les innovations de rupture pour préserver leur avance technologique (convertible V22 par exemple). Les européens, plus soucieux de conforter leur position sur le marché opte pour des stratégies moins risquées. Réciproquement, les pistes d'innovation sont sélectionnées en fonction du rapport maturité technologiques / possibilité d'investissement et viser des avantages compétitifs à long terme pour amasser de la trésorerie

Conclusion

Après une décennie relativement calme, la compétition s'est accélérée, l'arrivée à maturité de nouvelles technologies offrant de nouvelles perspectives. Les directions de recherche sont nombreuses et les choix stratégiques s'en trouvent complexifiés. Les logiques de développement des hélicoptéristes diffèrent : ils priorisent l'adaptation de leur structure organisationnelle, la justesse de leur stratégie commerciale ou encore l'attraction de nouveaux talents selon leur histoire et leur contexte [AWA 09].

- Sikorsky mise essentiellement sur le développement d'une gamme civile, jugeant ses activités traditionnelles trop centrées sur les militaires américains. Il s'est doté d'une structure séparée pour encourager les innovations.

- Boeing mise sur le développement de systèmes intégrés. Il développe une synergie d'innovations entre différentes entités de son groupe.
- Agusta mise sur les partenariats internationaux pour étendre sa maîtrise technologique et son réseau de vente.
- Oboronprom mise sur la certification de ses anciens appareils pour conquérir les marchés occidentaux et des collaborations internationales pour rentabiliser sa structure.
- Avi mise sur la formation d'une nouvelle génération d'ingénieurs pour devenir un hélicoptériste majeur à long terme.

Ils sont tous lancés dans d'ambitieux programmes de recherches de ruptures technologiques pouvant leur assurer une avance durable sur leurs concurrents.

Depuis les années 90, les difficultés de finalisation du programme NH90 mobilisaient de grandes ressources. Pour éviter de s'embourber dans de trop nombreux programmes, les innovations étaient principalement orientées vers l'amélioration d'appareils existants. En attendant, Eurocopter consolidait son infrastructure et son outil industriel et confortait sa présence sur le marché grâce aux nouvelles versions (EC 130 vs écureuil, EC 135 vs B0 105, EC145 vs BK 117, EC 155 vs Dauphin). L'accélération de la compétition a provoqué une remise en question de cette stratégie. Aujourd'hui Eurocopter se doit d'être plus radicalement entreprenant. Malgré la crise de 2009, les budgets recherches et développement n'ont cessé de croître, et des sommes conséquentes ont été accordées par le gouvernement français au titre du grand emprunt. Les programmes potentiels ayant le plus de chances d'être lancés sont :

- Formule rapide, pour se différencier et pour contrer celles annoncées de ses rivaux
- Formule d'hélicoptère lourd, pour compléter sa gamme et augmenter son offre militaire, marché sur lequel il n'est que peu présent
- Nouvelle version de l'écureuil, son modèle le plus vendu. Sa conception datant des années 70, les probabilités d'être devancés s'accroissent dangereusement
- Appareil sans pilote pour se positionner sur ce marché émergent

Les différentes recherches technologiques bénéficient à tous ces programmes. La stratégie consiste alors à les prioriser en tenant compte de leurs maturités et des exigences clients.

3. Spécificités de l'industrie hélicoptériste

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de caractériser l'industrie hélicoptériste de manière à pouvoir dégager les contraintes que les projets d'innovation doivent intégrer.

Cette thèse se concentre sur l'environnement d'Eurocopter, n'ayant eu que des accès limités aux informations des hélicoptéristes étrangers. Les conditions d'exercice de l'activité (concentration du marché, exigence de sécurité ou encore hautes technologies) créent un environnement spécifique qui oriente la créativité des concepteurs.. Ce chapitre les compare à celles d'autres industriels, constructeurs automobiles et avionneurs principalement, et dégage des problématiques récurrentes. Indépendamment les unes des autres, les contraintes sont connues par d'autres industries. L'industrie hélicoptériste a la particularité de les cumuler, les complexifiant de fait et restreignant l'importation directe de solutions innovantes.

Les champs commerciaux, industriels, technologiques, stratégiques et politiques ont été repérés chacun par plusieurs variables. Elles n'ont pas été choisies pour décrire exhaustivement les aspects de l'activité industrielle, mais pour faire ressortir les conditions dans lesquelles les projets innovants sont conduits. Par exemple, le champ commercial est décrit selon les conditions de vente, les quantités et le nombre de concurrents car le secteur hélicoptériste peut être caractérisé par le professionnalisme des clients, leur faible nombre et la forte concentration des concurrents. D'autres variables possibles comme la réputation de la marque, la fidélité des clients ou encore les études marketing n'ont pas été retenues, car elles n'induisent pas de comportements distinctifs des innovateurs dans le secteur d'activité décrit.

Les discussions conduites lors des présentations des différentes variables sont synthétisées dans un tableau, récapitulant leurs origines et leurs conséquences sur les projets d'innovation.

3.1 Caractéristiques commerciales

3.1.1 Coûts élevés (achat, exploitation, entretien)

Les prix d'achat des hélicoptères civils varient de un à quelques dizaines de millions d'euros, ceux des hélicoptères militaires peuvent atteindre la centaine de millions d'euros. Les coûts d'exploitation sont également élevés : la consommation carburant d'un hélicoptère, par passager et par tonne de l'appareil, est le double de celle d'un avion. Par exemple un hélicoptère embarquant une vingtaine de passagers (Super Puma) pèse 11 tonnes et consomme près de 700 l/heure de vol. Un avion transportant une cinquantaine de passagers (ATR42) pèse 18 tonnes et consomme 1200 l/heure de vol. La consommation par passager et par tonne est ainsi de 3,2 pour le Super Puma alors qu'elle n'est que de 1,3 pour l'ATR. Enfin, les frais de Maintien en Condition Opérationnelle (MCO) sont considérables: le MCO d'un hélicoptère Tigre de 19 M€ s'élève à de 1 M€ par an. Si les coûts d'achat et d'exploitation des hélicoptères et des avions augmentent à des taux similaires, les coûts de MCO des avions restent constants tandis que ceux des hélicoptères explosent. Les coûts de MCO des avions, statistiquement proportionnels à la puissance de leurs motorisations sont constants grâce aux avancées des motoristes en termes de fiabilité, tandis que les coûts de MCO des hélicoptères, liés aux contraintes vibratoires et au travail en fatigue de pièces plus complexes s'envolent. Ainsi, le budget d'entretien de l'armée de terre est passé de 150 à 320 M€ quand 120 Tigre et 133 NH90 ont remplacé ses 275 Gazelle et 100 Puma [FRE 08].

Les coûts sont le premier facteur structurant le marché : ils expliquent le petit nombre de clients et leur frilosité à renouveler leur flotte. Ils justifient l'existence d'un marché d'hélicoptères d'occasions, d'autant plus conséquent qu'il est soutenu par les hélicoptéristes eux-mêmes. Ils aident leurs clients à renouveler leur flotte à moindre frais et élargissent le marché tout aussi lucratif de pièces de rechange. La maintenance représente 35% environ de l'activité d'Eurocopter et près de la moitié de ses bénéfices. Réduire les coûts est ainsi un objectif incontournable. Cependant cette réduction ne peut être réalisée au détriment de la qualité, de la fiabilité ou du rapport coût d'achat / fonctionnalité de transport. Pour mettre en œuvre cet objectif, les hélicoptéristes peuvent concevoir selon de nouvelles approches (design to cost), établir des partenariats dans des pays « low cost », diminuer le nombre de pièces pour limiter la maintenance, rationaliser l'industrialisation des appareils (une pièce peut être intégrée dans plusieurs appareils) ou optimiser les achats (restructuration de services). EADS a ainsi regroupés en 2009 la gestion des achats pour l'ensemble de ses filiales.

3.1.2 Vente aux professionnels

Les militaires et la grande majorité des clients civils utilisent leurs hélicoptères à des fins professionnelles. A des fins personnelles, les clients optent de préférence pour des fins des appareils très légers des petits constructeurs, plus abordables. Le pilotage d'un hélicoptère étant complexe, les achats restent d'ordre rationnel. Les acheteurs savent évaluer le potentiel technique de leur machine, les brevets de pilotage exigeant l'assimilation de concepts avancés. Les choix sont liés aux performances des produits et non simplement des considérations esthétiques ou de prestige, comme peut l'être l'achat d'une voiture de luxe par exemple.

Pour séduire une clientèle d'initiés, les hélicoptéristes basent leurs offres sur l'analyse des missions à assurer. Pour afficher les meilleures performances en mission, l'adaptation des appareils séries aux besoins clients est un atout essentiel. Les hélicoptères sont ainsi des produits « personnalisés », conférant à l'industrie un caractère artisanal. La personnalisation s'avère parfois délicate, car bien qu'initiés, les clients ont une perception fautive des possibilités technologiques. Convaincus à tort que les innovations réalisées dans un domaine, en particulier automobile, sont transposables sur les hélicoptères, il leur est inconcevable par exemple de voler sans climatisation quand pratiquement toutes les voitures en sont équipées de base. Ces clients ignorent que la climatisation pénalise le rotor d'environ 20% de la puissance, dégradant ses capacités au point de modifier les paramètres de vol, quand elle ne modifie pas le fonctionnement des voitures.

Les offres sont dites « complexes » quand l'analyse des missions conduit à concurrencer les hélicoptères par d'autres moyens de transports. Par exemple, une localité voulant assurer la surveillance de ses côtes peut opter pour des hélicoptères SAR ou des combinaisons satellites-moyens terrestres. D'où l'intérêt des hélicoptéristes d'appartenir à des groupes aéronautiques.

Les missions étant assurées, les achats sont guidés par les coûts (direct, d'exploitation, de maintenance). La qualité du service de vente et l'éventail des services interviennent alors. L'implantation mondiale des grands hélicoptéristes les privilégie en leur offrant de gérer les demandes locales plus rapidement. Les nouvelles technologies de l'information modifient radicalement ces conditions. Contrairement à de nombreuses industries, les hélicoptéristes s'affrontent également au travers des choix de leur modèle commercial. Ils peuvent vendre un produit seul, un produit associé à un forfait maintenance, ou une capacité d'heures de vol (droit d'utilisation d'appareils interchangeable en cas de panne). La limite entre produit et

service est estompée. Quand l'activité de support représente un tiers des revenus d'Eurocopter, le choix du modèle n'est pas anodin. Il oriente également les axes d'innovations, en insistant sur la robustesse des produits ou leur suivi à distance par exemple.

3.1.3 Faible quantité de vente

La principale caractéristique de l'industrie des hélicoptères est la taille réduite de son marché comparativement à celui des constructeurs automobiles en quantité et à celui des avionneurs en valeur. Tandis que 70 millions de voitures sont vendues chaque années [CCF 09], moins d'un millier d'hélicoptères sont produits pendant la même période. Cet écart d'échelle suffit à lui seul à rendre caduque l'échange de solutions industrielles. Par exemple, l'industrie automobile génère des gains en robotisant ses chaînes de production, mais ces investissements ne sont pas amortissables sur des faibles quantités d'hélicoptères. Les hélicoptéristes et les avionneurs produisent quant à eux des quantités comparables. Cependant leurs enjeux économiques ne sont pas du même ordre de grandeur. Quand un avion est estimé entre 100 et 300 millions de dollars, le prix d'un hélicoptère civil varie entre 1 et 20. Leurs investissements et leurs approches industrielles s'en trouvent différenciées : un avionneur peut financer un programme de recherche sur fond propre, un hélicoptériste doit, pour un programme de même envergure, s'associer avec d'autres industriels.

Le faible volume de ventes pénalise certaines innovations. L'activité hélicoptériste étant marginale par rapport à l'activité industrielle globale, elle incite peu les fournisseurs potentiels à s'y investir. Ceux qui s'y risquent ne considèrent généralement pas ce secteur comme prioritaire, et sacrifient leurs projets hélicoptéristes au profit de marchés plus profitables s'ils sont contraints économiquement. Le faible volume de vente conduit à écarter des projets innovants, faute de rentabilité ou d'accès aux ressources. C'est par exemple le cas des projets de nouvelles dentures de pignons. Eurocopter a bien développé un procédé de nitruration profonde pour les protéger, mais ne peut potentiellement le vendre qu'à ses concurrents, les autres industries n'en ayant pas besoin. Les projets impliquant le recours à des caractéristiques offertes par le Marval X18 sont quant à eux directement abandonnés. Les fondeurs le produisent par coulée de 3t. Les avionneurs peuvent en commander une coulée, la taille des appareils permettant, mais les hélicoptéristes qui ont au mieux besoin de 150 kg sur la totalité d'une gamme ne le peuvent. Or aucun stock n'est disponible, les coulées étant assurées uniquement lorsque les commandes sont suffisantes.

3.1.4 Concentration des industriels

Le nombre de constructeurs aéronautiques est peu élevé. Les faibles quantités de vente et la hauteur des investissements encouragent peu les industriels à pénétrer ce marché, et incitent à des regroupements. Le marché de masse des automobiles est suffisant pour faire vivre plus d'une centaine de constructeurs [INSEE 09], mais seuls Airbus et Boeing se répartissent, à ce jour, le marché des avions de ligne de moyen et long courrier. Le faible nombre d'acteurs est une caractéristique des industries à hauts seuils d'entrées, c'est-à-dire des investissements nécessaires pour démarrer l'activité, comme les secteurs pétroliers ou aéronautiques. Les sociétés demeurant sur ces secteurs résultent de nombreuses fusions ou acquisitions. Une des fusions remarquable ces dernières décennies est celle d'EADS. En 1992, elle a regroupé des industries à l'échelle d'un continent (l'allemand DASA, le français Aerospatiale-Matra, issu de la fusion Matra et de Aerospatiale, et l'espagnol CASA), pour créer un groupe industriel de puissance mondiale, capable de rivaliser, avec Boeing. Dans le secteur hélicoptériste, seulement six constructeurs se partagent actuellement l'essentiel du marché, rendant la concurrence quasi-frontale : Sikorsky, Bell, Agusta-Westland, Oboromprom, Boeing et Eurocopter. Le nombre d'hélicoptéristes pourrait doubler si les stratégies d'hélicoptéristes émergents aboutissent (les chinois Avic, indien HAL...). Le marché en serait grandement perturbé, mais le nombre de constructeurs resterait toujours limité.

Le faible nombre d'industriels aéronautiques complexifie les relations partenariales. La taille du marché ne permettant pas à plusieurs sociétés de vivre simultanément, les constructeurs en viennent à partager les mêmes fournisseurs. L'équipementier Ratier Figeac qui fournissait des actionneurs ou des systèmes du cockpit à Eurocopter, a été racheté par le groupe américain Hamilton Sunderstand, qui compte parmi ses clients Sikorski et Bell. Les hélicoptéristes peuvent même être amenés à se fournir directement chez un concurrent. La société L'Hotellier, fournisseur d'Eurocopter, spécialisé dans les équipements du circuit carburant (bouchon, extincteur...) est une filiale du groupe UTC dont fait partie Sikorski. Les risques de délais ou d'augmentations de coûts non justifiées visant à affaiblir un concurrent sont prégnants. Les risques de transferts technologiques s'en trouvent exacerbés et la confidentialité des projets sérieusement menacée. Ce manque de choix dans la sélection de partenaires conditionne les projets d'innovation : les acheteurs et les juristes deviennent des acteurs majeurs dont dépend souvent la réussite des innovations, liée aux aspects contractuels relatifs aux approvisionnements et à la protection du patrimoine intellectuel.

3.2 Caractéristiques industrielles

3.2.1 Environnement réglementaire exigeant

Une caractéristique de l'industrie hélicoptériste est l'exigence des réglementations auxquelles sont soumises les autorisations de mise sur le marché des hélicoptères. Elles sont issues des normes aéronautiques. Les principales sont les Federal Administration Regulations (FAR) aux Etats-Unis, Joint Aviation Regulations (JAR) en Europe, Certification Specifications CS27-29, Advisory Circular AC20, et JAR OPS. Les JAR ne diffèrent des FAR que de quelques remarques. Elles n'ont été établies à la fin des années 90 que pour doter l'Europe d'une réglementation indépendante. Elles ont pour objectif de garantir la sécurité du vol. Elles imposent aux constructeurs de démontrer que la probabilité de panne est inférieure à un maximum imposé (de 10^{-4} à 10^{-9} selon la criticité de la pièce ou du système). Elles sont un gage de sécurité pour tous les clients et un label qualité aux hélicoptéristes qui les respectent.

Le coût très élevé de ces certifications (en moyenne 10 fois le prix du produit à certifier) étouffent les développements de nouveaux produits. Par exemple, la certification d'un arbre rotor de 50 k€ nécessite une batterie de test estimée autour de 500 k€. La certification d'une boîte de transmission revient quant à elle à 40 M€. Le prix de ces essais explique que 90% de pièces des boîtes soient communes à l'ensemble des versions, alors qu'elles pourraient être optimisées en fonction de l'utilisation prévue. Il en résulte que les opérateurs sont tous soumis aux mêmes contraintes de maintenance, qu'ils volent sur de longues distances à vitesse réduite ou enchainent des petits trajets très rapides.

La qualification d'un élément fige non seulement le design mais tout le process industriel aboutissant à sa réalisation (les paramètres d'usinage tel que la vitesse de coupe par exemple). Toute modification entraîne une nouvelle certification. Elle peut éviter de reconduire l'ensemble des tests, en démontrant que la fiabilité n'a pas été altérée, mais les procédures de gestion des modifications restent lourdes. Par exemple, le changement de procédés d'usinage pour la fabrication d'un plateau cyclique a coûté plus de 200 k€ en frais administratifs de réécriture des liasses. Les appareils sont condamnés à ne pas évoluer, car les faibles quantités de vente ne suffisent pas à amortir les investissements nécessaires à d'éventuelles innovations.

Les défis des projets innovants sont de trouver des approches qui satisfassent aux exigences réglementaires, garanties de sécurité, tout en respectant les budgets. En effet, les projets

innovants ont de nombreuses inconnues susceptibles de remettre en question la faisabilité du projet ou le périmètre économique de son application. La comparaison entre l'aviation légère réglementée et le secteur des ULM, non soumis à contrôle, illustre ce frein. Les avions construits au cours des 29 dernières années sont sensiblement identiques, tandis que les ULM évoluent rapidement. Ainsi les premiers ULM électriques sont apparus en 2009. La levée des contraintes, en réduisant les investissements, autorise la venue sur le marché de nouveaux constructeurs et favorise la compétition. D'autres secteurs industriels sont soumis à des certifications pénalisantes. L'industrie nucléaire ou l'industrie pharmaceutique sont fortement réglementées. Cependant la nature de leurs champs expérimentaux exige qu'ils garantissent leurs produits pour des durées imposées de plusieurs dizaines d'années, tandis que les hélicoptéristes peuvent la fixer eux-mêmes. Des essais sont réalisés en temps restreint et les résultats sont extrapolés. Le TBO (Turn before Overall ou durée de vie légale) sera alors fixé en fonction de l'argumentaire technique développé.

La réglementation n'impose jamais de solution technique. Elle veille simplement au respect de règles apprises par retours d'expériences après chaque accident. Les constructeurs restent libre d'innover et de rendre toujours plus fiable leur produits. Cependant ils ont tendance à s'autocensurer pour éviter d'avoir à qualifier de nouveaux produits car les essais sont onéreux. La réglementation force en revanche les innovations lorsqu'elle évolue, puisque chacun se doit de la respecter.

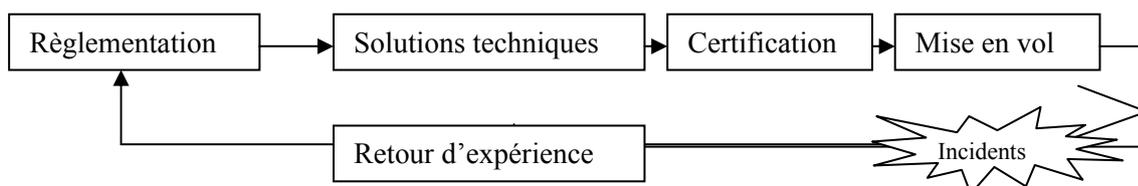


Figure 35 : Séquence d'apprentissage et d'évolution de la réglementation

Certaines innovations ont pour but de réduire les coûts de certification, en proposant des moyens de limiter la durée des essais par exemple. Eurocopter a développé un banc de test d'endurance pour simplifier le processus de certification des servocommandes. Le comportement des nouvelles est comparé à celui d'anciennes déjà certifiées. Les essais portent sur le spectre de sollicitations le plus pénalisant. La meilleure tenue des nouvelles permet de garantir leur fiabilité. Cette méthode permet de réduire de 5 à 1 an la durée des essais et d'économiser 0,8 M€. Mais basée sur la comparaison, elle ne permet de tester que des équipements de remplacement, pour lesquels il existe une référence. [FER 08]

3.2.2 Situations monopolistiques fréquentes

Les grands hélicoptéristes sont essentiellement des assembleurs. Ils achètent la majorité des pièces (moteurs servocommande, train d'atterrissage par exemple) et ne réalisent en interne que celles présentant un caractère stratégique ou nécessitant un savoir faire à protéger (pales, boîtes de transmission ...). Eurocopter achète ainsi 70% des pièces et n'en produit que 30%.

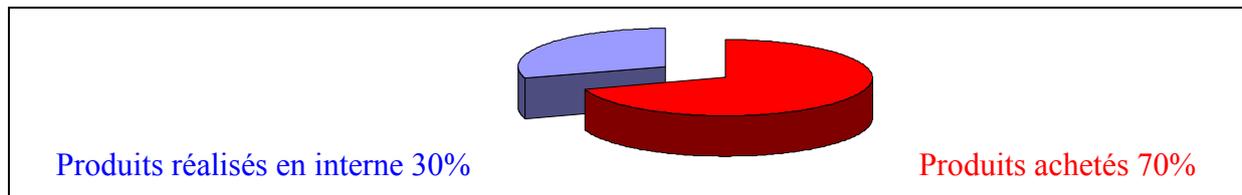


Figure 36 : Origine des produits constituant un hélicoptère

Parmi les 70% des pièces achetées, certaines le sont sur étagère, d'autres sont co développées avec des partenaires. Les hélicoptéristes achètent sur étagère des pièces standards sur lesquelles ils n'ont pas de valeur ajoutée (carte électroniques...) ou des pièces dont le développement est tellement particulier qu'ils ne peuvent à moindre frais s'y intéresser (les moteurs). Ils investissent parfois dans l'adaptation de certaines quand les contraintes d'intégration ou les performances attendues sont très spécifiques sans s'impliquer dans leur conception. En effet, les hélicoptéristes restent responsables des performances devant le client final. Par exemple, Eurocopter travaille de concert avec RTM sur le moteur PT6 de l'EC175. Les hélicoptéristes achètent également des pièces mais qu'ils font concevoir (certains roulements par exemple) en spécifiant les fonctionnalités à remplir. Ils achètent enfin des pièces qu'ils font fabriquer après s'être investi en totalité ou au moins partiellement dans leur conception pour en conserver le design ou la propriété intellectuelle.

De nombreuses pièces achetées connaissent des situations monopolistiques, c'est-à-dire sont fournies par une source contractualisée d'approvisionnement unique. Ces pièces ne peuvent être remplacés par des produits concurrents sur les hélicoptères qu'elles équipent. Certaines servocommandes de Goodrich, des trains d'atterrissage de Messier-Dowty, le Pilote Automatique de Sagem, des réservoirs carburant d'Air Azur en sont des exemples .D'une part le marché des hélicoptères n'est pas un marché captif pour les industriels et la taille réduite du marché ne permet pas à de nombreux fournisseurs de coexister. D'autre part, les coûts de certification font renoncer à envisager des doubles sources.

Les retours d'expérience des nombreux projets suivis dans le département innovation tendent à répartir en quatre le nombre de situations de monopoles rencontrées :

- *Les monopoles historiques* : L'entreprise noue des relations de confiance avec un partenaire pour s'engager dans des projets de développement à long terme.
- *Les monopoles stratégiques* : l'entreprise recherche un intérêt particulier.
- *Les monopoles entretenus* : l'entreprise entretient sciemment un monopole satisfaisant.
- *Les monopoles critiques* : la dépendance de l'entreprise est gênante, voire dangereuse.

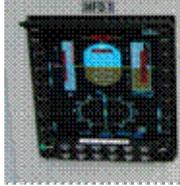
			
roulements historique	Caisson de train d'atterrissage entretenu	Avionique stratégique	Servo commande critique

Figure 37 : Exemples de monopoles

Quelle que soit la nature de ces situations monopolistiques, toutes sont susceptibles de devenir critiques, en particulier par le biais de rachat ou de fusion. Les partenariats sont toujours sources potentielles de dépendance et de fuite d'informations mais les situations monopolistiques compliquent leur gestion. Ces monopoles deviennent alors sources d'innovation en forçant les entreprises contractantes à trouver des solutions pour s'en dégager.

- **Monopole historique**

Ces monopoles résultent en général d'une nécessité de rationalisation des investissements nécessaire au développement de certaines innovations. La dépendance est acceptée pour permettre aux partenaires de s'investir dans des projets ambitieux et à long terme. Par exemple, Messier a développé une nouvelle technologie de carter en magnésium pour Eurocopter en échange de la garanti d'exclusivité sur la durée de production des hélicoptères concernés (plusieurs dizaines d'années). Ou encore l'équipementier SAM a développé des servocommandes du rotor, pilotées par les commandes de vol. La partenariat, débuté dans les années 50 est devenu monopole car au fil des années, la qualité et les coûts des produits étant toujours satisfaisants, aucune raison n'invitait à chercher ailleurs. Jusqu'en 2000, quand SAM a été racheté par la société américaine Goodrich, bouleversant la politique commerciale.

- **Monopole entretenu**

Certains monopoles peuvent être qualifiés d'entretenus car ils ne sont jamais remis en question. L'entreprise est consciente de sa situation de dépendance et l'accepte, car elle satisfait ses exigences de qualité. Par exemple, Eurocopter achète ses aciers spéciaux exclusivement chez Aubert Duval, reconnu mondialement comme le meilleur forgeron, pour bénéficier de ses matériaux d'une performance inégalée. Les résistances, dureté ou tenue en fatigue de pièces telles que les arbres, les éléments d'intégration du moteur, ou encore engrenages et pièces de transmission en dépendent. Par ailleurs, les monopoles peuvent être acceptés pour éviter de devoir certifier deux systèmes et gérer deux gammes de fabrication. Quand le partenariat est fiable sur le long terme. Par exemple, chaque modèle d'hélicoptère n'est prévu pour fonctionner qu'avec un seul moteur. Les motoristes ont ainsi l'exclusivité d'approvisionnement sur une gamme donnée. Comme il existe peu de motoristes pour les hélicoptères (Turboméca, Rolls-Royce, General Electric, Pratt & Whitney, Honeywell essentiellement), chacun est en position de monopole sur plusieurs hélicoptères.

Ces monopoles entretenus ne sont ni source ni frein à l'innovation, parce qu'ils concernent l'achat de pièces situées hors des champs technologiques dans lesquels l'entreprise investit.

- **Monopole stratégique**

Ces monopoles sont généralement motivés par la volonté de l'entreprise d'acquérir un avantage compétitif particulier. Les innovations de rupture les envisagent ainsi fréquemment. Quand ils sont engagés avec de petites structures ils ont pour intérêt leur réactivité et leur compétitivité. Quand ils sont engagés avec des grands groupes, ils confèrent de conditions de vente particulièrement avantageuses, d'un point de vue financier ou concurrentiel (exclusivité, prix, garanties de délais d'approvisionnement ou de mises à jour etc). En retour, des débouchés acceptables au regard des investissements sont consentis. Par exemple, Eurocopter s'est engagé dans un contrat d'exclusivité pour l'acquisition de certains roulements avec SNR et FAG pour bénéficier de tarifs avantageux en leur garantissant un volume de vente suffisant dans le temps.

Si les partenariats stratégiques sont intéressants financièrement, ils restent relativement rares, car malgré toutes les précautions contractuelles, ils peuvent devenir critiques. Les prises de participation dans la société partenaire offrent des garanties, mais elles ne sont pas toujours possibles et la protection assurée par la propriété intellectuelle n'est généralement pas jugée

suffisante. Par exemple, dès le début des années 2000, Sagem a pu vendre à Bell des pilotes automatiques similaires à ceux développés plus tôt avec Eurocopter.

Ces monopoles ne sont ni freins ni sources d'innovations, mais plutôt une conséquence parfois dangereuse des ambitions novatrices.

- **Monopole critique**

Ces monopoles exercent des contraintes néfastes à l'activité de l'entreprise sous deux aspects : d'une part, sans alternatives d'approvisionnement, les livraisons d'hélicoptères sont dépendantes du fournisseur. D'autre part, sans accès aux évolutions des pièces, la sécurité des hélicoptères peut être remise en question. En effet, bien que répondant aux spécifications préconisées, des modifications peuvent entraîner des conséquences dommageables (non compatibilités imprévues de nouvelles cartes électroniques par exemple).

Ces monopoles touchent souvent des pièces majeures de l'hélicoptère. Par exemple, les difficultés de réalisation d'arbres de transmission à haute vitesse (20 000 tr/min) reliant les moteurs à la BTP ont permis à la société Bendix d'être en position monopole, en ayant seule la maîtrise des procédés d'usinage et de soudage appropriées . Si le monopole a été un temps accepté, le rachat par la société Goodrich en 2005 a modifié la situation. Les prix ont augmenté arbitrairement de 40%. Le carnet de commande ne pouvant être remis en question, contourner le monopole devenu trop pénalisant a contraint Eurocopter à consentir a des investissements importants pour récupérer la maîtrise du design.

Se désengager d'un monopole détenue par une société en possédant plusieurs est encore plus complexe, l'abandon d'un produit peut entrainer des pressions commerciales supplémentaires sur les autres. La société Goodrich, au chiffre d'affaire de 6,4 milliards de dollars contre 4,5 pour Eurocopter, s'est appuyé sur son monopole sur les servocommandes pour essayer d'éviter de perdre le marché des arbres. Pour ne plus être vulnérable, ce n'est ainsi pas un mais deux projets d'innovation qu'Eurocopter a dû conduire.

Ces monopoles critiques sont une source importante d'innovations. Les projets sont généralement difficiles technologiquement (des brevets protègent les produits), délicats industriellement (les partenaires sont rares), dangereux commercialement (les risques de pénalités imposées par la société à contourner peuvent être sévères) mais ils sont également parmi les plus lucratifs.

3.3.3 Contrainte de gestion de l'obsolescence

Les hélicoptères sont généralement utilisés plus d'une cinquantaine d'années. Eurocopter s'engage contractuellement à procurer les moyens de maintenir sa flotte en état jusqu'à ce qu'elle compte moins de 5 appareils en service, volant chacun moins de 200 heures par an. La société continue ainsi son activité de support pour l'alouette, créée en 1957 et toujours en service sur le continent africain. Les événements se produisant sur une période aussi longue ne peuvent tous être anticipés. Par exemple des cessations d'activités de fournisseurs conduisant à l'abandon de produits ne sont pas prévisibles.

L'obsolescence, définie comme « une fin de disponibilité » [CEI 07], est une notion liée à une perte d'utilité ou une dégradation des performances détruisant son intérêt commercial. Les minitels sont ainsi devenus obsolètes quand Internet a donné accès à plus de services plus rapidement. L'obsolescence est également liée à la notion de maintenance. En effet, tant qu'un produit fonctionne et n'a pas à être remplacé peu importe qu'il soit ou non toujours sur le marché. Les problèmes surviennent lors des pannes, pour les réparer ou remplacer car la compatibilité des produits de substitution n'est pas garantie. C'est souvent le cas pour les nouveaux logiciels qui ne peuvent être lus par les anciens systèmes. L'obsolescence est enfin liée à la notion de durée de vie des produits, car elle peut être programmée ou anticipée. Par exemple les consoles de jeux sont prévues pour ne fonctionner qu'un temps, sans qu'il soit organisé de service après vente au-delà. Globalement, quatre types d'obsolescence concernent l'industrie hélicoptériste :

- Obsolescence technologique : les performances des produits sont dépassées
- Obsolescence commerciale : le produit n'est plus économiquement exploitable
- Obsolescence esthétique : l'image associe le produit à une époque révolue.
- Obsolescence réglementaire: le produit ne satisfait plus les critères de mise sur le marché.

			
microprocesseur	Adaptateur de trainée en élastomère	Alouette II	Rivets cadmiés
Technologique	Commerciale	Esthétique	Réglementaire

Figure 38 : Exemple d'obsolescence

Les avionneurs et les hélicoptéristes connaissent des problèmes de gestion des obsolescences similaires. Ils regroupent ainsi souvent leurs efforts d'innovations leur permettant d'y palier. Eurocopter et Airbus mutualisent ainsi leur recherche au sein d'Innovation Works. Les difficultés sont toutefois plus importantes pour les hélicoptéristes car ils gèrent environ dix fois plus de familles de composants par appareil.

- **Obsolescence technologique**

L'obsolescence technologique traduit la dégradation en performances et qualité d'un produit pour des raisons matérielles (vieillessement, péremption...) ou d'abandon d'une technologie.

En cas de panne, il est généralement aisé d'assurer le support des pièces métalliques devenue obsolète (arbres de transmissions, tuyauterie...) Les nouveaux matériaux développés peuvent remplacer les anciens. Par exemple, les tiges d'aciers (35NCD16) des amortisseurs des trains d'atterrissage sont remplacées sans encombre par des tiges inox traitées en HVOF (procédé de vaporisation d'une poudre carbure –Tungstène). Il est par contre plus délicat d'assurer le support des composants électroniques, car les formats de données ne sont généralement pas compatibles. En moins d'une dizaine d'années - le temps de développement d'un hélicoptère - les systèmes hardware ne sont plus assez puissants pour lire les nouveaux soft. L'électronique du NH90 définie dans les années 90 s'est ainsi avérée être obsolète à la livraison du premier appareil en 2010, son ordinateur n'étant plus fabriqué car inadapté aux nouveaux logiciels.

L'obsolescence technologique n'est pas spécifique à l'industrie hélicoptériste, mais elle est une contrainte sensible de par la différence entre les durées de vie très courte des matières informatiques et électroniques et de plusieurs dizaines d'années d'utilisation des hélicoptères. Cette différence est encore accrue par la durée des tests de qualification de logiciels.

Ces contraintes de gestion de l'obsolescence pénalisent l'activité innovante en incitant plutôt à améliorer des composants existants pour leur utilisation sur les anciennes machines et bénéficier ainsi de leur marché. Elles orientent par ailleurs les innovations systèmes vers des conceptions en modules, pour limiter les inévitables problèmes de remplacement.

- **Obsolescence commerciale**

L'obsolescence commerciale traduit la disparition d'un produit du marché pour des raisons économiques, liées à l'évolution du secteur industriel (restructuration d'entreprises, évolution des tailles des marchés par exemple).

Les composants standards, fabriqués en grandes séries et à moindre coût pour des marchés de masse, sont attractifs pour les hélicoptéristes, mais leur disponibilité est liée à l'existence d'une demande que les hélicoptéristes seuls ne peuvent assurer. Quand la demande évolue, ils subissent leur obsolescence. C'est le cas par exemple de nombreuses résines.

Les périodes de crise créent des risques majeurs d'obsolescence commerciale. Des fournisseurs risquent de disparaître ou d'abandonner des gammes de produits. Cette situation est d'autant plus prégnante pour les hélicoptéristes que les situations de monopoles sont nombreuses, et limitent les solutions de remplacement. Pour assurer la continuité des approvisionnements, le soutien financier des fournisseurs s'impose souvent. Dans ce contexte, les pièces développées spécifiquement pour les hélicoptéristes, plus onéreuses que les pièces standards, se révèlent être plus faciles à gérer. Les contraintes liées à la gestion des obsolescences commerciales encouragent alors à innover.

En comparaison, l'industrie automobile est moins impactée par l'obsolescence commerciale. La gestion des anciens modèles est plus aisée parce l'importance des productions séries suffit à rendre cette activité financièrement viable et que le support n'est que d'une dizaine d'années.

- **Obsolescence esthétique**

L'obsolescence esthétique des hélicoptères est secondaire. D'une part les motivations d'achat restent fonctionnelles, d'autre part, les hélicoptères évoluent peu extérieurement. La forme des hélicoptères répond à des contraintes de conception aérodynamique et structurelle. Tandis que les constructeurs automobiles ont une grande liberté d'habillage pour jouer avec les aspects esthétiques, la forme des hélicoptères reste dictée par des impératifs fonctionnels. La forme du nez et du pare brise est par exemple choisie en fonction d'un cône de visibilité du pilote, que le design soit attractif ou pas. Par ailleurs, les hélicoptéristes, comme les avionneurs, n'ont pas intérêt à connoter leur produit culturellement ou temporellement, car leur durée de vie dépasse le demi-siècle et le marché trop réduit. Les constructeurs automobiles adoptent une démarche inverse, en associant leurs modèles aux tendances en vogue sur un marché à un moment donné pour mieux séduire leurs clients.

L'aspect esthétique reste secondaire par rapport aux performances. Les clients sont cependant sensibles au design intérieur : depuis le début des années 2000, les acquéreurs d'hélicoptères d'occasion demandent de re-personnaliser leur cabine, ce qui n'était pas le cas auparavant.

Mais les hélicoptères conçus en partenariat avec des industriels de la mode n'ont pas connu le succès escompté (Agusta et Versace sur l'AW139 ou Eurocopter et Hermès sur l'EC135).

- **Obsolescence réglementaire**

Les obsolescences réglementaires traduisent une non appropriation d'un produit ou d'un procédé de fabrication aux normes en vigueur. Par exemple, les composants à base d'amiant ne peuvent plus être intégrés et les procédés de soudure au plomb ne sont plus autorisés.

Les réglementations aéronautiques évoluent en intégrant l'expérience acquise par la collecte des incidents et accidents par les services officiels. Elles visent essentiellement à améliorer la sécurité et la survivabilité au crash et à limiter les pollutions survenant lors de la fabrication ou de l'utilisation des machines. Les évolutions technologiques, les préoccupations environnementales sont le plus souvent responsables des changements. Par exemple, l'intégration croissante de composants électroniques (EMI) a abouti à la création de nouvelles contraintes pour limiter les champs électromagnétiques induits. La pollution au cadmium a interdit le cadmiage (procédé de bain électrolytique dans une solution contenant du cadmium) pour protéger la surface des aciers (ce dernier point est problématique car aucun procédé de remplacement n'a pu encore être trouvé).

Les évolutions de la réglementation n'impactent que les appareils construits après sa date d'entrée en vigueur et n'imposent aucune modification des appareils existants, excepté pour interdire des systèmes défectueux ayant été identifiés comme étant causes d'accidents. Ainsi, bien que la réglementation actuelle impose quatre points d'attache entre les boîtes de transmission et la structure, les premières versions des super puma construites plus tôt n'en ont que trois, les plus récentes en ont quatre.

Les évolutions de la réglementation sont sources d'innovation en obligeant les ingénieurs à imaginer de nouvelles solutions. Anticiper ces évolutions peut gêner ses concurrents en imposant le respect d'une nouvelle norme. Par exemple, la pénibilité des conditions de travail des salariés est limitée par la norme européenne ISO 2631-1 qui interdit leur exposition à des niveaux de vibrations trop élevés sur de longue durée. Cette norme n'est pas en vigueur dans le secteur des hélicoptères car pour le moment aucune solution technique ne permet de l'appliquer. Il en est de même pour le bruit. Il est raisonnable d'estimer que les pilotes devront un jour avoir les mêmes droits que tous les autres employés. Elle entrera alors en vigueur dès qu'un hélicoptériste commercialisera un appareil répondant à ces exigences.

3.3.4 Longueur des délais d'approvisionnement

Les impératifs technologiques génèrent de travailler à partir de pièces ou de matériaux très spécifiques, réalisés sur commande exclusivement. Les délais d'approvisionnement peuvent devenir très longs. Le Marval 12 doit ainsi être commandé plus de deux ans avant sa livraison. Le préjudice financier que représente l'immobilisation de liquidités sous forme de stock ne favorise pas l'innovation qui demande la disponibilité de matière pour procéder à de multiples expériences. Les cycles incrémentaux de conception par validation de tests de nouvelles pièces mécaniques de la BTP s'en trouvent ralentis et les projets d'innovations pénalisés.

Il serait tentant de recourir à des matériaux (ou pièces) plus communs, voire normalisés, choisis pour leur performance et leur disponibilité. Mais la pénalité économique générée par le recours à des matériaux ou composants développés exclusivement à la demande d'un hélicoptériste est gage de pérennité de l'entreprise. En effet, si toutes les pièces d'un hélicoptère pouvaient être achetées sur étagère, n'importe quel industriel sachant s'entourer de quelques spécialistes cautionnant ses choix pourrait s'improviser hélicoptériste. Cela sonnerait la fin du métier d'assemblier. Il est stratégique pour les hélicoptéristes de continuer à développer des pièces spécifiques, sans chercher à les partager avec d'autres industries, afin de rendre moins accessible leur cœur de métier

3.3 Caractéristiques technologiques

La plupart des secteurs industriels sont soumis à de fortes contraintes technologiques, et les hélicoptéristes n’y échappent pas. Non seulement ils cumulent les contraintes, mais certaines induisent des solutions contradictoires. Par exemple, la volonté de réduire la masse n’est pas toujours compatible avec celle d’augmenter la puissance. Ces contraintes sont d’autant plus pénalisantes que leurs produits évoluent dans des conditions hostiles. La plupart sont dictées par les demandes de plus en plus complexes des clients qui veulent aller toujours plus vite, consommer moins, emporter plus de masse et voler par tout temps.

Tandis que les projets d’innovation sont évalués dans certains secteurs en fonction de leur faisabilité théoriques (nucléaire, sciences génétique par exemple), les hélicoptéristes sont préoccupés avant tout par la faisabilité industrielle. Très souvent des solutions technologiques existent mais elles ne sont pas applicables (trop chère, trop lourde...).

L’objectif de ce paragraphe est de parcourir les différentes contraintes des hélicoptéristes pour les préciser et en évaluer les conséquences pour les projets d’innovation.

			
fenestron	Avion solaire Solar impulse et A340	Eclatement d’un disque	Givrage des prises d’air et moyen rotor
Maturité technologique - Protection industrielle ciblée	Forte puissance de motorisation et de transmission	Contrainte sécuritaires	Conditions hostiles Minimisation de masse

Figure 39 : Exemple de caractéristiques technologiques

3.3.1 Manque de maturité technologique

Les hélicoptères sont produits en série et vendus sur le marché depuis une cinquantaine d’année dans leur version actuelle. Selon la classification de l’économiste américain Raymond Vernon [VER 66], qui propose une analogie entre la vie des produits et celle des organismes biologiques, les hélicoptères sont à un stade de « *maturité commerciale* » (maîtrise des analyses du marché et services de vente). Leur ventes sont maximales et sont

amenées à décliner. Les études théoriques révèlent deux stratégies pertinentes: réduire les coûts du produit existant ou créer un produit de remplacement pour débiter un nouveau cycle.

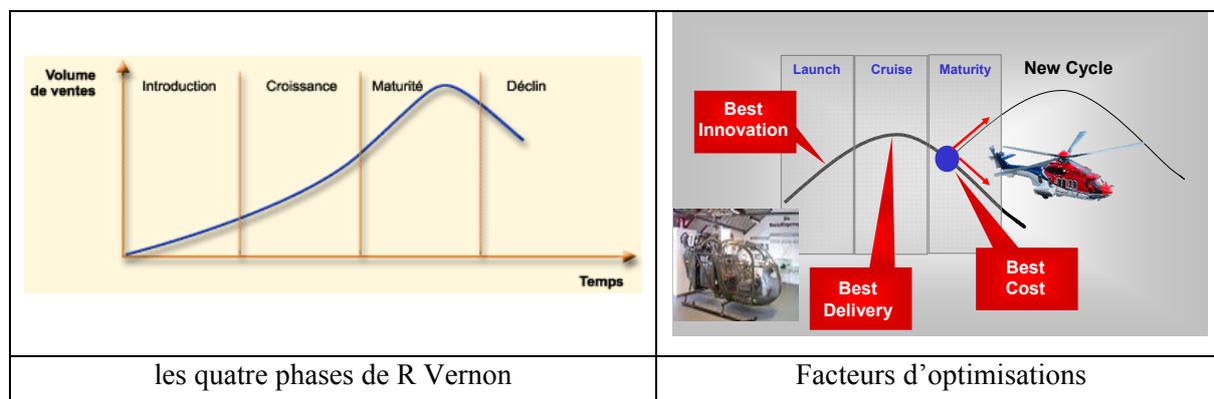


Figure 40 : Cycle de vie d'un produit

L'objectif de réduction de coût est d'autant plus attractif dans le secteur des hélicoptères que les coûts ont toujours limité son marché. Cette démarche ne garantit cependant pas le succès, comme l'illustre le cas de la firme Mac Donnell Douglas. Elle avait basé dans les années 1980 sa stratégie sur la seule réduction de coût, entraînant une externalisation massive de ses activités (en Chine pour la nouvelle version du DC9 par exemple). L'absorption des gains en productivité et la perte de savoir faire résultant du manque de contrôle des projets avaient générés de lourdes pertes financières, contraignant la firme à être rachetée (par Boeing).

L'objectif de création de rupture technologique est attirant car il replace l'entreprise dans la compétition sur un plus long terme. Cette démarche est plus risquée car il est difficile de discerner les tendances qui émergeront alors que le rythme d'évolution des technologies s'accélère. En attirant les clients vers des produits radicalement différents, les hélicoptéristes évitent une confrontation des concurrents dans une logique exclusivement basée sur la comparaison des coûts, trop destructrice de leurs marges.

Les autres industriels du transport mixent les deux stratégies. Les constructeurs automobiles sont largement délocalisés dans des pays low cost pour réduire les coûts et lancent simultanément des programmes de recherche (autour de préoccupations environnementales, pour des voitures hybrides par exemple). Les avionneurs, en font de même mais centrent les activités de recherche plutôt sur le confort des passagers (minimisation du bruit, possibilité de connexion à internet, espace détente dans le nouvel Airbus A380 [AIR 09]...).

Toutes les industries du transport sont soumises à intégrer la raréfaction du pétrole, dont la phase de déclin vient d'être amorcée (raréfaction). Contrairement aux constructeurs

automobiles et aux avionneurs, les hélicoptéristes abordent cette situation sans avoir atteint le stade de « *maturité technologique* », c'est –à-dire à partir duquel ne subsistent sur le marché que des produits technologiquement optimisés (les connaissances théoriques et des capacités techniques de réalisation des hélicoptéristes sont encore limitées).

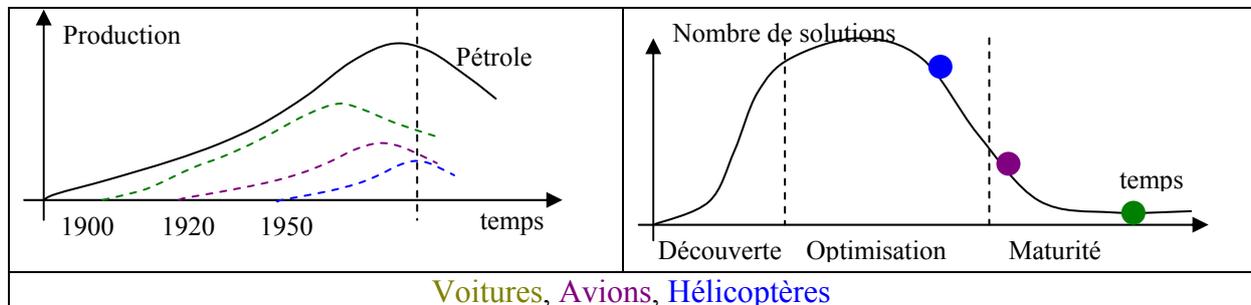


Figure 41 : Comparaison des cycles de vies

Par exemple, les constructeurs automobiles, apparus au début du XXème siècle, ont longtemps hésité sur le nombre optimal de roues. Les trois roues offraient l'avantage d'une simplicité de conception, les 6 roues des performances intéressantes pour l'adhérence... Figer le nombre de roues à 4 dès le lancement d'une nouvelle conception de voiture ne s'est imposé que dans les années 70, après que suffisamment d'études aient questionné les intérêts économiques et mécaniques. De même, les ailes des avions ont connu des géométries très variables avant que les connaissances aérodynamiques ne permettent d'optimiser leurs proportions. Ces industries peuvent être considérées comme technologiquement matures.



Figure 42 : Architecture des voitures (nombre de roues)

Ce n'est pas le cas pour les hélicoptéristes qui hésitent encore sur les choix de départ. Par exemple les hélicoptéristes retiennent chacune des architectures de rotors différentes (engrenant, coaxiaux, tandem, rotor arrière,... [AVI 10]). Le manque de maturité technologique pénalise les projets innovants, qui cumulent les difficultés de développement de nouvelles technologies, à celles de choix d'architecture (savoir pour laquelle l'innovation sera le plus efficace). Certes, 90% des hélicoptères sont conçus selon une architecture classique, mais le fait que d'autres solutions soient encore envisagées est révélateur.

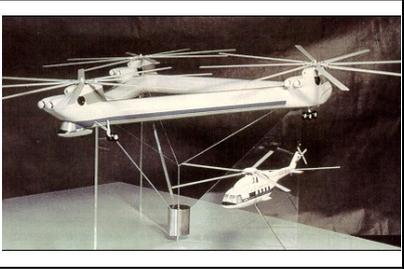
		
Rotors latéraux Mil MI-V12 - 1967	Tri-rotors Mil MI- 32- 1982	Rotor en tandem Piasecki V360 1987
		
Rotor engrenant Kaman K-Max1991	Rotors coaxiaux Kamov KA50 - 1999	Rotor classique EC 175 2009

Figure 43 : Architecture des hélicoptères (technologie du rotor)

3.3.2 Minimisation de la masse

Les hélicoptéristes, comme tous les autres constructeurs aéronautiques, cherchent à minimiser le poids de leur appareil pour limiter la consommation de carburant. Les avionneurs et les hélicoptéristes partagent souvent les mêmes techniques pour atteindre cet objectif mais ils ne retiennent que rarement celles de l'industrie spatiale que le vide et un environnement thermique unique rendent trop différente. Airbus et Eurocopter, filiales du groupe EADS, mutualisent ainsi leurs activités de recherche au sein de l'organisme Innovation Works.

La principale source de gain de masse est le recours à des matériaux plus légers. Ainsi les matériaux composites sont privilégiés au détriment des matériaux métalliques, (la densité de l'acier est 7,8, celle de l'aluminium 2,8 alors que celle des composites est de 1,8, celle des composites carbone 1,6 et celle du kevlar de seulement de 1,2). Leur utilisation est cependant limitée : pour la structure leurs performances mécaniques peuvent être moins bonnes et les matériaux composites s'avèrent plus onéreux que les matériaux métalliques aussi bien sur la matière première que sur le coût de la fabrication (le kilo d'acier ne coûte que 2 €/kg quand le kevlar revient à 10 €/kg). Pour les pièces mécaniques (manchon par exemple), les composites à matrice métallique (CMM) offrent les mêmes caractéristiques que les métaux bien qu'étant bien plus légers. Mais leur prix est dissuasif ainsi que celui de l'outillage en diamant qu'ils

nécessitent. Aussi bien pour l'hélicoptère que pour l'avion les matériaux composites sont de plus en plus employés. L'utilisation massive de carbone n'est plus compatible avec une approche éco-conception et la difficulté de réaliser de la maintenance sur les matériaux composites actuels .

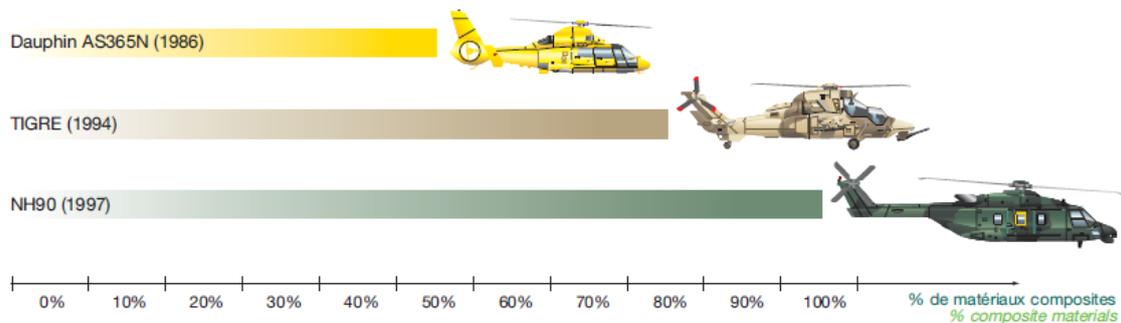


Figure 44 : Utilisation des matériaux composites sur les hélicoptères – (source UFH)

D'autres sources d'allègement proviennent du design des pièces elles-mêmes. Des logiciels de calculs par éléments finis (Optistruct,...) ont pour vocation d'aider les constructeurs à optimiser la forme de chaque pièce pour réduire la masse à performance égale (pièce iso-contraînte). Airbus a grâce à eux réussi à réduire de 250 kg chacune des ailes de son A380, par rapport à son premier design [STU 04].

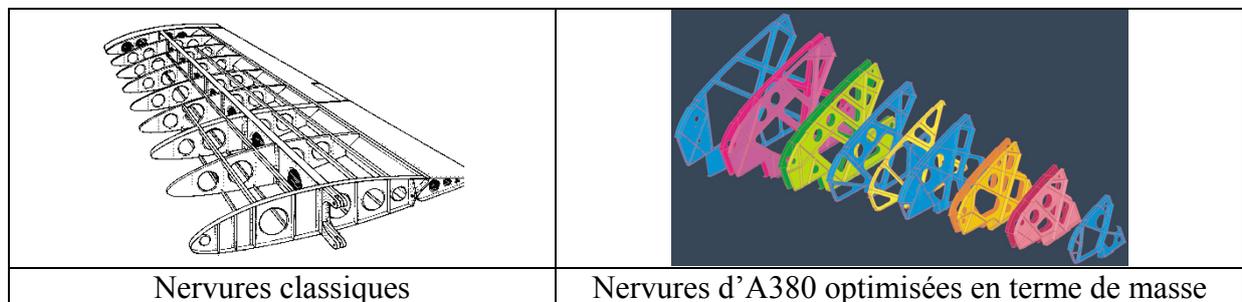


Figure 45 : Nervures d'ailes d'avion

La masse embarquée pénalise d'avantage les hélicoptères que les avions car leur finesse est très inférieure. Les finesesses, distances qu'un aéronef peut parcourir en planant par rapport à sa hauteur, ou encore rapport du coefficient de portance sur le coefficient de trainée, se situent entre 20 et 25 pour les avions mais seulement autour de 2 pour les hélicoptères. Autrement dit, les hélicoptères sont incapables de planer et seule la puissance motrice assure le vol. La volonté de minimiser la masse freine les innovations en limitant le choix possible des matériaux mais par ailleurs elle pousse à inventer de nouveaux designs toujours plus performants.

3.3.3 Utilisation en conditions hostiles

Les hélicoptères travaillent dans des environnements hostiles pour les mécaniques. Ces environnements sont la conséquence des vols en basse altitude dans des milieux délicats. Par exemple les vols au dessus de la mer accélèrent la corrosion, les vents de poussières, même hors zones désertiques, abrasent et érodent les pales et la structure, ou encore le givre modifie le centrage et surtout le profil aérodynamique des pales et alourdit les hélicoptères qui peuvent ne plus générer suffisamment de portance pour assurer le vol.

La prise en compte de conditions environnementales difficiles n'est pas propre aux hélicoptères, mais leurs solutions technologiques pour s'en protéger le sont car elles répondent à d'autres contraintes, en particulier de minimisation de la masse. Les bateaux sont par exemple dans un milieu corrosif bien plus hostile, mais leur gamme de solutions est plus étendue : leur coque peut être plus épaisse (15 et 30 mm pour un navire, 0,1 à 1,6 mm selon les tôles d'hélicoptères) ou faire appel à des structures de conception inadaptables de par leur poids en aéronautique (doubles coques). Les avions sont eux soumis à des conditions aérologiques similaires, mais les solutions sont conçues pour des éléments statiques quand les hélicoptères doivent protéger des éléments tournants. Les systèmes de protections des pales en particulier sont très complexes à développer, et d'autant plus que les puissances sont élevées (jusqu'à quelques dizaines de KWatt). Le super puma est ainsi équipé d'un alternateur supplémentaire quand les dispositifs anti givrage sont installés. En moyenne, l'usage de système de dégivrage augmente la consommation de carburant de 4 à 8% par rapport à la normale [CAN 10].

Ces conditions particulières impliquent le recours à des dispositifs spécifiques sans lesquels les hélicoptères sont inutilisables. Ces systèmes touchent peu de consommateurs (les grilles de sable sont inutiles en Europe ou les dégivreurs inutiles dans les pays équatoriaux). Ces conditions sont sources d'innovation car elles ouvrent des niches commerciales (plus de 200 brevets ont été déposés sur les seuls systèmes anti givrage ces dix dernières années)

3.3.4 Contraintes sécuritaires de navigabilité

Des contraintes normatives sont imposées aux hélicoptères pour parer à d'éventuels dysfonctionnements pouvant être fatals aux passagers et aux personnes au sol qui se trouvent sur la trajectoire de crash. Une classification des éléments structuraux et des équipements est établie afin de répondre aux exigences réglementaires (FAR/JAR CS 27, 29), méthode aussi

connue sous le nom de VIS. Elle distingue trois catégories de pièces, (critique, importante ou secondaire) selon les conséquences auxquelles des pannes de chaque système et sous système fonctionnel conduisent [WAL 09], elle impose des contraintes particulières. Une pièce est dite « critique », ou vitale, si la perte de la fonction qu'elle assure n'est pas tolérée, conduisant à la perte de l'appareil sans qu'aucune disposition compensatoire ne puisse offrir de marge de tolérance aux dommages [MAI 06]. Les pales, le moyeu rotor, le mat, les arbres de transmissions et certains étages de pignon sont des exemples des pièces vitales.

Les avions sont soumis à des contraintes réglementaires analogues. Les exigences de conception des pièces sont aussi pénalisantes. Le nombre de pièces vitales est sensiblement le même. Environ 1% des pièces d'un avion ou d'un hélicoptère sont vitales, bien que cette proportion dépende du modèle. Un hélicoptère qui compte environ 20 000 références, possède plus de 200 pièces vitales. Par contre les avions et les hélicoptères n'ont que peu de pièces critiques communes et ne partagent pas toujours les conditions entraînant leur criticité: les pièces critiques d'un avion sont liées essentiellement à la fonction de freinage ou au vol en très haute altitude et distribuées sur tout l'appareil tandis que celles des hélicoptères sont liées au fonctionnement de la voilure tournante et pratiquement toutes localisées autour du mat rotor. Les conditions critiques sont parfois communes (celles conduisant à la perte de l'avionique par exemple), mais le plus souvent différentes car elles sont liées à leurs spécificités mécaniques.

Les conditions critiques sont approximativement cinq fois plus nombreuses pour un hélicoptère que pour un avion pour arriver à respecter les exigences de navigabilité imposées par la réglementation. [ARP 96]. L'impossibilité de planer en cas de défaillance, l'unicité de passage des efforts à travers le mat rotor et la forme des hélicoptères (ouverture du cockpit et la compacité) leur imposent des contraintes supplémentaires. D'une part la verrière des hélicoptères est bien plus grande que celles des avions proportionnellement à leur structure, les rend plus vulnérables aux agressions extérieures (chocs d'oiseau, perturbations électromagnétiques...). D'autre part la taille des hélicoptères impose une concentration qui peut être la cause d'interférences entre équipements (par échange thermique ou rayonnement électromagnétique), alors que ces risques sont en général évités sur les avions, les systèmes pouvant être isolés en étant répartis sur leur longueur. Par exemple l'éclatement d'un disque moteur sera certainement fatal à un hélicoptère en endommageant de très nombreuses pièces situées sur la trajectoire des éclats, alors que les avions peuvent survivre à un tel scénario.

Il en résulte que les hélicoptéristes doivent prendre en compte plus de contraintes pour la conception d'hélicoptères. De plus les hélicoptéristes ne peuvent pas, comme les avionneurs, avoir recours à la redondance des équipements pour satisfaire les niveaux d'exigence sécuritaires imposés. En effet, les avions, prévus pour transporter plus de passagers peuvent accentuer ces redondances sans pénaliser le rapport masse puissance. Les circuits hydrauliques sont ainsi généralement triplex sur les avions, alors qu'ils sont au mieux duplex sur les hélicoptères. Ces contraintes forcent les hélicoptéristes à innover.

3.3.5 Vibrations

Un hélicoptère est vendu comme un service assurant le transport d'une capacité de charge, sur une certaine distance, pouvant l'enlever et la déposer verticalement, c'est-à-dire sans nécessiter une infrastructure aéroportuaire. En omettant les dirigeables, le moyen technologique de parvenir à un vol stationnaire est l'utilisation d'une voilure tournante.

La rotation de cette voilure est à l'origine de 98% des vibrations. Le changement cyclique de pas génère des excitations périodiques, source de vibrations et de fatigue. Les phénomènes d'instabilité et de résonance induits peuvent conduire à la destruction de l'appareil s'ils sont mal maîtrisés. Les vibrations sont difficilement prévisibles, car leurs lois sont difficiles à appréhender. Elles résultent du couplage de différentes sources tels que les excitations d'origine aérodynamique, celles liés aux systèmes tournants (balourd, engrènement,...). Par ailleurs, le cheminement des efforts à travers la structure est souple et le design s'en trouve considérablement complexifié. Les phénomènes vibratoires doivent être pris en compte dès la définition du concept d'un nouvel appareil, puis être réexaminés lors de sa validation.

Le contrôle des vibrations est une source importante d'innovations car les études marketing révèlent que le confort offert aux clients impacte les ventes. Par exemple en Norvège, les restrictions des temps de vol des S-92 pour cause de performances vibratoires insuffisantes ont découragé des clients potentiels. Eurocopter a bien saisi cet enjeu. En 2009, 120% des brevets déposés par le bureau d'études étaient ainsi relatifs au système antivibratoire. Cette proportion est d'autant plus impressionnante que le département ne représente que 1% de son effectif total. Cette performance permet à Eurocopter d'être globalement mieux positionné que ses concurrents sur ce domaine dans les enquêtes de satisfactions clients. Dans le détail, cette position varie d'un appareil à l'autre : les EC 155 et EC225 devancent leurs hélicoptères concurrents en termes de confort vibratoires, mais pas les NH90 et EC130.

Les innovations peuvent être classées en trois catégories selon qu'elles réduisent les vibrations à la source (système implanté dans le rotor par exemple tel que les résonateur de tête ou les pendules des pales), à l'interface de structure (systèmes implantés entre le fuselage et la BTP, système SARIB par exemple...) ou localement en cabine (sous les sièges tels que les résonateurs cabines, dans la poutre de queue tels que le système TSAR,...). Cette classification traduit des choix de conceptions différant selon des objectifs de coût de l'appareil. En effet, si le développement de systèmes locaux se chiffre en dizaines de milliers d'euros, celui des systèmes globaux s'estime en millions d'euros.

3.3.6 Motorisation et besoin de forte puissance

Les hélicoptères nécessitent une très forte puissance motrice. 80% environ de la puissance est consommée pour leur sustentation. Si les avions sont conçus pour planer, la circulation d'air générée par leur forme créant de la portance, les hélicoptères sont conçus pour leur capacité à se maintenir en stationnaire, et la portance doit être entièrement générée. Elle dépend de l'écoulement d'air autour des pales, donc de leur vitesse de rotation. La puissance de la motorisation nécessaire pour maintenir un appareil en vol est de l'ordre de 330 kW / tonne pour un hélicoptère alors qu'elle n'est que de 180 kW/tonne pour un avion soit environ 2 fois moins (un super puma EC225 de 11 tonnes est équipé de 2 moteurs délivrant 1800 KW chacun, un ATR 42 de 18 tonnes de 2 moteurs de 1600 KW chacun).

La recherche d'un rapport puissance/poids élevé de la motorisation devient primordiale. Les moteurs de grandes diffusions de type essence ou diesel équipant les millions de camions ou le million de navires (paquebot, cargos, pétroliers...) en service dans le monde ne sont dès lors pas adaptés [ACN 09]. Ils sont assez puissants pour fournir jusqu'à 500 kW, mais ils sont aussi trop lourds. De plus, ils ne sont pas adaptés en l'état aux conditions de vol aéronautiques, et il est difficile de rendre avionnable un moteur : il est nécessaire d'assurer une lubrification les protégeant des variations d'assiette dues aux rafales et variation de G. La plupart des moteurs équipant les avions ne sont pas, sauf exception, adaptables. Peu sont assez puissants pour les hélicoptères, et quand ils le sont, ils sont généralement eux aussi trop lourds pour être utilisés. A titre de comparaison, quand un avion biplace nécessite 65cv, un hélicoptère biplace en nécessite 180, soit trois fois plus. Quand un moteur de Super Puma ou de NH90 nécessite 1500 kW, les avions préfèrent les réacteurs. Actuellement, il n'y a que peu de moteurs à être utilisables en même temps par les avions et les hélicoptères. C'est le cas de

PT6, turbopropulseur de Pratt & Whitney délivrant entre 600 et 900 kW utilisé par les avions DASH 7, et Cessna 208b et les hélicoptères EC175 et AW139 par exemple.

Les solutions des constructeurs automobiles ne sont pas à ce jour encore transposables pour les hélicoptères. Les gammes de puissances sont trop différentes (30 à 200 kWatt pour une voiture, 300 à 3000 kWatt pour un hélicoptère). Les technologies alternatives (solaires, électriques,...) ne délivrent pas quand à elles suffisamment de puissances pour directement assurer le vol et tout juste assez pour assurer le fonctionnement de quelques équipements de bord. Le premier avion solaire (Solar Impluse) construit pour réaliser le tour du monde a une envergure de 80 m (plus grande que celle d'une airbus A340) et ne transporte que 2 passagers.

Les hélicoptères utilisent majoritairement des turbines développées exclusivement pour leur usage, car elles présentent le rapport élevé puissance/poids qu'ils recherchent. Malheureusement, ces turbines pénalisent doublement les hélicoptères : le rapport puissance/poids se fait au détriment du rendement d'une part, et d'autre part le développement spécifique et la fabrication en faible série impactent fortement le coût de la motorisation. Les moteurs sont un point clé de l'hélicoptère lors du développement mais ce sont les motoristes qui ont le pouvoir de mettre au point des innovations. Les recherches actuelles se centrent sur le respect de l'environnement : réduction du CO₂, réduction du NO_x, réduction du bruit développement de nouveaux carburants synthétiques issus de biomasse (moyen terme) ou encore les carburants cryogéniques (long terme) [ONE 10].

3.3.7 Transmission de forte puissance

La particularité des hélicoptères est leur voilure tournante. Elle implique l'existence d'une liaison mécanique entre la motorisation et la voilure, c'est-à-dire d'une chaîne cinématique de pièces dimensionnées par rapport à la puissance de sa motorisation. Les turbomoteurs ont des vitesses de rotation de fonctionnement élevées de l'ordre de 20 000 tr/min alors que la vitesse du rotor est de l'ordre de 200 à 300 tr/min, soit un rapport de réduction de 70. La vitesse en bout de pale ne doit en effet pas excéder le nombre de mach pour assurer de la portance (en général mach 0,8/0,9 sur la pale avançante). Cette réduction, combinée au respect d'objectifs de minimisation de masse, de fiabilité, de capacité de refroidissement et d'encombrement (pour ne pas trop impacter le coefficient de traînée) particularise la conception.

Les réducteurs des chaînes de forte puissance rencontrés dans les autres industries sont aujourd'hui des éléments à engrenages de type trains simples ou trains épicycloïdaux. Les contraintes d'encombrement et de masse amènent à choisir des solutions dans lesquelles les dents des engrenages de la boîte de transmission principale d'hélicoptère transmettent jusqu'à 120 kg/mm^2 , soit sensiblement 10 fois plus que celles des réducteurs classiques. Peu d'industrie ont des besoins identiques, hormis celle des engins agricoles ou spéciaux. Dans ce secteur, quelques grands groupes se partagent les marchés de masse, comme Caterpillar pour les tracteurs, et les petites industries se positionnent sur des niches (mines, forage...). Les puissances fournies par les moteurs utilisés sont proches de ceux des hélicoptères. Cependant leurs masses, ou celles des arbres et boîtes de transmission, excluent une utilisation aéronautique. L'impératif de minimisation de l'encombrement et de la masse condamnent l'emploi de matériaux classiques et excluent un approvisionnement sur des marchés de pièces communs à la plupart des industries

Si les boîtes et organes de transmission sont spécifiques aux hélicoptères, leurs systèmes de lubrifications et de refroidissement ne le sont pas. La lubrification est en général assurée par la circulation d'huile, refroidie par un ventilateur. Le même fluide sert au refroidissement par soucis d'allègement, alors que sur les automobiles les deux fonctions sont séparées. Les recherches des hélicoptéristes sont orientées vers la réduction de la proportion de puissance à évacuer thermiquement ou la tenue sans lubrification pour limiter la masse embarquée, tandis que les recherches s'orientent vers l'optimisation des moyens d'évacuer la chaleur dans l'industrie automobile. Cette orientation particulière conduit par exemple à chercher à diminuer des coefficients de frottements, pour réduire les 4 à 5% de puissance motrice actuellement dissipées. Cette source potentielle d'innovation est cependant peu explorée jusqu'à présent car jugée non prioritaire face aux améliorations potentielles à réaliser sur les dentures ou la fiabilité des pièces.

Le cumul des contraintes de minimisation de la masse, de transmission de forte puissance et de réduction des niveaux vibratoires complexifie la conception de toutes ces pièces mécaniques. C'est le cas pour les engrenages, dont les déformations sous charge, généralement insignifiantes, ne le sont plus. Pour assurer le bon fonctionnement, les formes initiales usinées doivent les prendre en compte, alors qu'elles sont négligées dans d'autres industries. La fabrication de toutes ces pièces est elle aussi complexifiée. Elle nécessite l'emploi de matériau et de procédés uniques. Un étage de la BTP nécessite la maîtrise d'une panoplie élargie de hautes technologies utilisées à la limite de leurs possibilités.

Cette complexité freine le rythme des innovations, car les ressources humaines suffisamment qualifiées sont limitées. Des partenariats avec des structures de formations et de recherche européennes (Arts et métiers en France, TU München en Allemagne par exemple) sont actuellement mises en place par Eurocopter, pour disposer d'un vivier d'ingénieurs mieux formés à ses attentes. Eurocopter fait par ailleurs suivre des compagnons en fin de carrière par des biographes pour consigner leurs gestes quotidiens et assurer la pérennisation de leur savoir faire (découpage de certaines tôles,...).

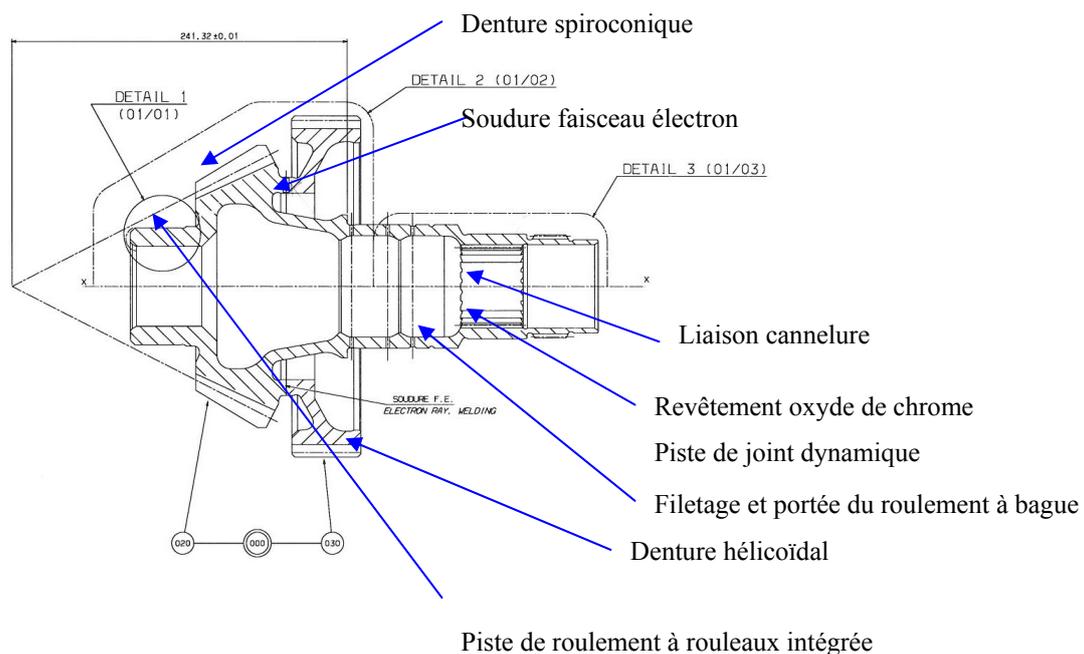


Figure 46 : Exemple de pièce complexe : Pignon de conjugaison de l'AS 332

Ces difficultés de formation et de pérennisation des activités protègent les hélicoptéristes établis contre la venue de nouveaux concurrents en leur interdisant l'accès aux savoirs basés sur l'expérience. Les pays low cost émergents n'ont ainsi pas encore développé d'hélicoptères en concurrence frontale avec ceux d'Eurocopter et il est possible d'espérer que le délai d'apprentissage des nouvelles technologies garantira l'avance technologique de la société. Cet argument avait déjà été avancé pour rassurer les constructeurs automobiles, dès les années 80, quand les constructeurs japonais les avaient sévèrement concurrencés. La situation est cependant différente pour les hélicoptéristes. Au sortir de la seconde guerre mondiale, le Japon avait réussi à développer son industrie automobile en s'appuyant sur la reconversion de ses ingénieurs aéronautiques alors que les pays émergents commencent à peine à posséder des industries mécaniques traditionnelles matures.

3.4 Caractéristiques stratégiques

Les enjeux stratégiques diffèrent selon les composants. Tandis qu'il est impératif de préserver certaines compétences en interne pour pérenniser l'activité de l'entreprise, (fabrication de pales, des éléments du rotor...), d'autres n'ont pas d'impact sur son avenir et peuvent être externalisées (éléments de la planche de bord, calculateur...). A la base de son activité stratégique, l'entreprise doit identifier les activités dans lesquelles elle réussit mieux que ses concurrents. Ces activités distinctives constituent ce que Gary Hamel et CK Prahalad [HAM 90] ont défini comme le « cœur de compétence » de l'entreprise. Les activités qui en font partie permettent l'accès au marché, la perception d'avantage par le client et une différenciation par rapport aux concurrents qui ne peuvent les imiter. Selon de nombreux économistes, les activités hors du cœur de compétences doivent être externalisées pour optimiser la compétitivité de l'entreprise. « Comment externaliser ? » devient alors une préoccupation qui nécessite de clarifier les intérêts de l'entreprise à plus long terme. Il faut pour cela positionner les projets d'innovations par rapport aux objectifs de développement de l'entreprise.

Cette partie veut cerner les motivations pouvant permettre aux hélicoptéristes de retenir ou éliminer une activité de leur cœur de compétence, car il orientera les stratégies d'innovations. Trois approches sont pour cela parcourues. Elles sont conduites d'après la perception du positionnement des activités de l'entreprise par ses employés, d'après la perception des différences entre l'entreprise et ses concurrents par les clients, et enfin d'après les délimitations légales qui séparent les champs possibles d'investigations de l'ensemble des concurrents.

3.4.1 Constructeur aéronautique

Eurocopter est inscrit au registre du commerce français dans la catégorie des constructeurs aéronautiques. Il cumule plusieurs fonctions centrées autour d'une activité mécanique. Il est à la fois concepteur (capable d'imaginer des pièces), spécificateur (capable de préciser à ses fournisseurs l'ensemble des contraintes que les pièces non disponibles sur étagère doivent respecter), assembler (capable d'agencer les divers composants de manière à réaliser des hélicoptères) et enfin producteur (dans la mesure où il réalise lui-même certaines pièces élémentaires à intégrer). Eurocopter se définit comme une entreprise de construction « mécanique » de haute technologie. Cette vision provient de ce que l'histoire des hélicoptères

est liée aux avancées dans les sciences mécaniques. De plus, 80% des pièces vitales des hélicoptères étant mécaniques les préoccupations lors du développement d'un nouvel appareil sont essentiellement d'ordre mécanique. Eurocopter estime que sa pérennité sur le marché naît de sa capacité à connaître les règles d'intégration des divers éléments dont la combinaison aboutit à la construction d'un hélicoptère. La conception ou l'achat de ces composants dépend des avantages compétitifs qu'ils peuvent apporter. Seront conçues et fabriquées en interne et précieusement conservées les pales et les technologies rotor, tandis que seront presque systématiquement achetées les capteurs (pression, température...).

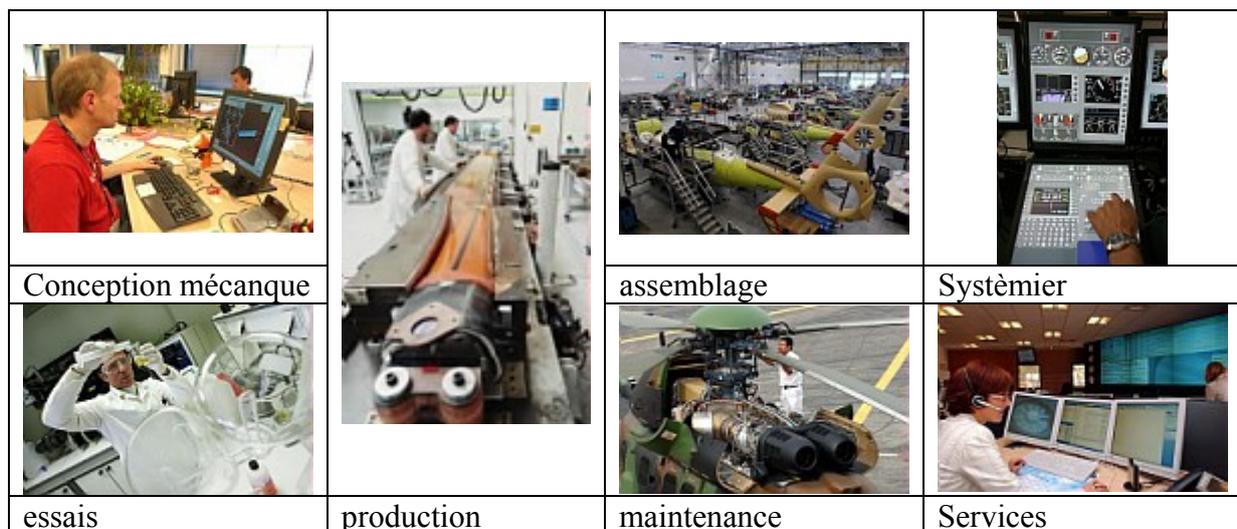


Figure 47 : Illustrations des secteurs de métiers d'Eurocopter

Toutes les activités liées au département mécanique ne sont cependant pas considérées comme essentielles. Les activités de dessin, à la base de toute conception, pourraient paradoxalement être entièrement externalisées. En effet elles ne génèrent en soi aucune valeur ajoutée et contraignent à gérer les formations et reconversions des dessinateurs. A l'inverse, des activités non mécaniques « pures » mais seulement au sens large sont considérées comme essentielles. L'écriture de certains soft s'est par exemple imposée au fil du temps. Le pilote automatique (PA), historiquement acheté auprès de fournisseurs extérieurs, s'est imposé en interne depuis les années 80 (après que le Super Puma mark 2, ait subi des augmentations des prix inacceptables). Eurocopter ne fabrique pas les composants hardware, ni les capteurs, mais elle maîtrise la génération de code, qui est la partie la plus coûteuse. Le développement des métiers liés à l'avionique dans la société fait aujourd'hui débat. Certains pensent que les équipements sont argument de vente efficace, gage de la prospérité de l'entreprise et qu'à ce titre ils se doivent d'être développés en interne. D'autres pensent que les ressources (financières ou humaines) absorbées auraient permis de gagner des avantages bien plus

significatifs dans d'autres secteurs et conforter l'avance d'Eurocopter sur ces concurrents (rotor, systèmes vibratoires...).

Tous les hélicoptéristes ne se définissent pas de la même manière. Bell se présente par exemple comme une société de service et souhaite ne pas fabriquer. Il a fait le choix de déléguer la responsabilité des productions de pièces à ses fournisseurs pour optimiser sa gestion de maintenance. Il se concentre sur les problèmes à l'interface client – hélicoptère et arrive ainsi à offrir depuis près de 20 ans le meilleur service clientèle. Boeing a choisi de se concentrer sur les systèmes et à déléguer la conception de la plateforme les emportant.

Le « cœur de métier » d'une entreprise est l'ensemble des savoirs et activités qui garantissent sa pérennité et justifie l'existence de l'entreprise sur le marché. Ces savoirs ou activités lui permettent de réaliser les produits ou services grâce auxquels elles attirent ses clients, en leur permettant de générer de la valeur ajoutée. Ils rendent également la présence de l'entreprise visible sur le marché, en véhiculant son image, ou en différenciant son offre de celle de ses concurrents. Cette notion, originellement proposée par Gary Hamel [HAM 90] pour définir les sources de compétitivité d'une entreprise, est dictée par la vision stratégique. Elle évolue dans le temps, au fur et à mesure que se dessinent les nouvelles attentes des marchés, tendances commerciales ou impératifs industriels. La définition du cœur de métier est déterminante pour les innovations, car elle délimite les activités vers lesquelles les investissements seront dirigés. Les projets hors de ce domaine ne pourront plus bénéficier des ressources internes pour valider leur faisabilité et seront abandonnés. La responsabilité technique de leur conception sera confiée à des sociétés partenaires externes, et l'entreprise ne se souciera plus que de la cohérence du montage industriel (approvisionnement, droit de propriété intellectuelle...). Des ressources pourront éventuellement être mises à disposition des partenaires externes (banc d'essai ou expertise en vue de la certification aéronautique...), mais ils n'auront aucun financement direct. Les sociétés extérieures seront les décideurs, les responsables du développement du produit innovant. Les différences de perceptions de leur cœur de métier pourraient conduire les hélicoptéristes à s'engager dans des voies de développement très distinctes dans les prochaines années.

3.4.2 Personnalisation des produits

Si les hélicoptères sont des appareils produits en série, ils diffèrent à l'intérieur d'une même gamme par la présence ou l'absence d'équipements. Ces différences se traduisent par des modifications qui affectent la structure elle-même et exigent parfois des études et tests complémentaires pour répondre aux exigences de sécurité des vols et des missions auxquelles ils sont destinés. Un même type d'appareil, un dauphin par exemple, peut être destiné à des missions sanitaires, de surveillance de ligne ou de police. Chacune d'elles requiert des équipements (treuils, coupe-câbles, radar) et des implantations de sièges différentes. Efficace en termes commerciaux, les personnalisations sont pénalisantes en termes d'innovation. Elles absorbent beaucoup de temps au bureau d'études en adaptations au détriment des projets d'avenir. Dans l'espoir de rationaliser ces adaptations, une partie du bureau d'études a été détachée à la production en 2008.

Les industriels de l'automobile se sont inspirés de la personnalisation en aéronautique pour développer de nouvelles méthodes de vente. Citroën, Fiat et d'autres proposent depuis 2010 des configurateurs permettant à leurs clients de choisir un grand nombre de pièces à assembler pour composer leur véhicule. Les choix ne se limitent plus à la couleur de la carrosserie ou l'ajout d'équipements (climatisation ou GPS), mais ils s'étendent à des éléments structuraux comme la motorisation, les pneumatiques et les ailerons par exemple. Mais quand ces constructeurs automobiles peuvent étudier toutes les possibilités de combinaison pour rationaliser leur offre et optimiser leur production, les hélicoptéristes ne le peuvent pas : Le nombre de combinaisons dépasse le nombre de clients. Les prix et les facilités d'approvisionnement variant avec le nombre d'exemplaires, la standardisation est une piste d'évolution à privilégier pour réduire les coûts. Les projets d'innovation développent aussi souvent que possible des concepts de famille (produits étant prévus pour une gamme d'appareils, à quelques modifications mineures près). La rationalisation de l'offre est un enjeu majeur pour Eurocopter, réputé pour sa capacité à livrer à ses clients des appareils personnalisés de manière à répondre au mieux à leur besoins opérationnels.



Figure 48 : Configurateur automobile

3.4.3 Propriété intellectuelle ciblée

La propriété intellectuelle (PI) a pour vocation de protéger les inventions et le savoir-faire, pour préserver ainsi les avantages compétitifs. D'un côté, cette protection est vitale dans l'industrie hélicoptériste, car la taille réduite du marché contraint les concurrents à partager les mêmes fournisseurs (le procédé d'usinage des carters en magnésium, mis au point par Eurocopter est actuellement utilisé par son fournisseur partenaire (Aubert & Duval) pour vendre des exemplaires aux concurrents), voire à collaborer directement (Agusta et EC sont associés à travers la filiale NHI pour co-développer le NH90), et les partenariats constituent le principal risque de fuite de connaissances. D'un autre côté, cette protection n'est pas systématique car les coûts de certification protègent les inventeurs contre d'éventuels contrefacteurs.

Eurocopter a ainsi choisi de breveter toutes les innovations relatives aux starflex et sarib, mais de ne pas breveter ses architectures de boîtes de transmission (BTP) contrairement à Sikorski. Le starflex est un type de rotor composite dont le moyeu possède des branches pouvant se déformer, qui permettent de supprimer l'articulation en pas des pales en absorbant les déformations. Eurocopter tient à conserver l'exclusivité des ventes de cette technologie car elle est particulièrement avantageuse (gain de masse, réduction du coût, réduction d'encombrement, amélioration de la performance). Eurocopter détient également de très nombreux brevets de systèmes anti vibratoires de type SARIB, car ils lui permettent de bloquer les recherches des concurrents et d'être le constructeur le mieux placé en terme de confort pour les passagers. Constitués d'une lame et d'une masse travaillant comme un résonateur, ces systèmes de suspension sont situés entre la boîte de transmission principale (BTP) et le fuselage pour amortir les vibrations au plus près de leur source. En revanche, Eurocopter ne protège aucune architecture de BTP. Les frais de qualification rendent vains les copiages, car un concurrent à tout intérêt à développer la boîte la mieux adaptée, pour un nouvel appareil, en s'inspirant peut-être de boîtes existantes brevetées ou non, mais en les adaptant.

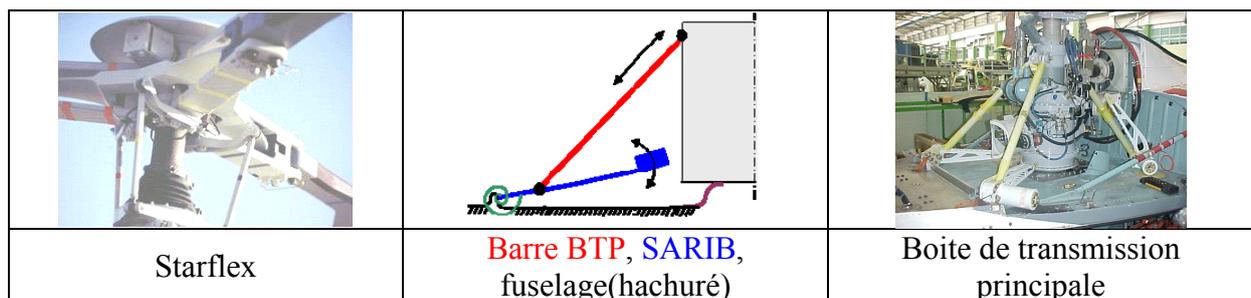


Figure 49 : Illustrations des brevets : Starflex et Sarib

Le dépôt de brevet est une activité rapidement onéreuse, car ils demandent à chacun de s'acquitter d'une taxe annuelle proportionnelle au nombre de pays concernés. Le dépôt d'un brevet coûte environ 8000 € par pays, auquel s'ajoutent de quelques centaines à quelques milliers d'euros pour les extensions, selon le pays et l'ancienneté du brevet. Pour les hélicoptéristes, déposant chacun autour de 200 brevets annuellement, cette protection s'élève à plusieurs millions d'euros par an.. Pour réduire ces frais administratifs, ils ciblent les brevets à protéger et réduisent leur couverture géographique. Contrairement aux industries de production de masse qui doivent couvrir tous leurs marchés, les hélicoptéristes peuvent en effet se permettre de ne cibler que des zones de dépôt très localisées. En déposant aux Etats-Unis et dans un pays d'Europe, le marché auquel s'adresse un hélicoptère est généralement déjà protégé de moitié. Par ailleurs, les hélicoptères contrefacteurs ne pourraient pénétrer cette zone, limitant leur intérêt. Les hélicoptéristes déposent chaque brevet dans deux pays en moyenne. Par contre, dès qu'un concurrent contrefait, des extensions supplémentaires sont déposées pour bloquer ses ventes. C'est par exemple le cas du train d'atterrissage dit « à moustache » de l'EC 120 qu'Eurocopter protège dans une dizaine de pays, depuis que Bell a équipé son B429 d'un train suspecté d'être contrefacteur.

Comme dans de nombreuses industries, la surveillance des contrefaçons est permanente. Mais les produits contrefaits le sont toujours par un très petit nombre d'acteurs bien identifiés. Les contrôles exigés par les réglementations aériennes, et l'implication des militaires sécurisent le marché en termes de reproductions illicites, mais elle n'empêche pas les concurrents de s'inspirer les uns les autres.

Certaines entreprises semblent très innovantes parce qu'elles choisissent de protéger toutes leurs inventions. Mais le nombre élevé de dépôt de brevets n'est parfois qu'un moyen de communiquer. Airbus dépose près de 600 brevets chaque année, mais un tiers à la moitié seulement sont reconduits l'année suivante. Eurocopter sélectionne par contre au départ les innovations qu'elle protège, déposant moins d'une centaine de brevets par an. Le meilleur indicateur de l'activité innovante d'une entreprise reste sa permanence et le classement de ses produits sur le marché. L'innovation n'est pas une fin en soi, mais une activité à finalité économique.

3.5 Caractéristiques politiques

La compétition entre concurrents industriels est faussée par les états qui influent sur la compétitivité de leurs industries nationales. Cette situation n'est pas spécifique à l'industrie hélicoptériste. Elle l'impacte fortement car les commandes militaires soutiennent son développement. La stabilité des relations entre états et les ambitions protectionnistes deviennent des facteurs conditionnant le déroulement des projets d'innovation.



Figure 50 : Illustrations des caractéristiques politiques

3.5.1 Influence des relations internationales

Les grands hélicoptéristes sont tous situés dans les grands pays respectés en tant que puissances économiques et militaires (Etats-Unis, Russie, France, Angleterre, Italie). La plupart des composants mécaniques de haute technologie (rotules, les roulements ...) sont produits dans les pays les plus industrialisés (pays d'Europe occidentale, Japon, Etats-Unis...). Ces pays sont des démocraties stables, entretenant des relations cordiales sur de longues durées. Cependant, les composants tendent à être importés de pays « low cost », pour répondre aux impératifs de réduction de coûts et pour pénétrer les marchés de ces pays émergents en négociant des accords de transferts technologiques en échange de commandes. Par exemple, Eurocopter s'est engagé dans un contrat de co-développement de son EC 175 avec la Chine, AgustaWestland fait produire son AW139 en Russie. L'instabilité des relations diplomatiques est une source de risques importants pour les industriels. Les blocages administratifs, financiers, voire même physiques, (retards de délivrance de certificats d'autorisations, retards de paiement, interruptions des approvisionnements) les empêchent de fonctionner normalement. Les projets d'innovations sont ainsi contraints dès l'origine d'envisager des sources d'approvisionnement alternatives pour pallier au risque de crise.

3.5.2 Protectionnisme

Les préférences nationales des consommateurs conditionnent régulièrement les ventes. Actuellement l'origine est un élément décisif pour accéder à certains marchés [ROT 10]. Le marché des hélicoptères est d'autant plus soumis à cette tendance protectionniste que la majorité des clients sont étatiques ou parapublics. Le protectionnisme américain a ainsi incité Eurocopter à créer en 1989 sa filiale « American Eurocopter » pour séduire de nouveaux clients en jouant sans ambiguïté sur cette tendance.

L'implication des états fausse la concurrence entre hélicoptéristes. Quand l'entreprise américaine Sikorski investit jusqu'à 19,6B\$ avancé sur une commande militaire pour se doter d'un hélicoptère furtif (RA66-comanche), aucun concurrent ne peut suivre en réagissant sur ses fonds propres. Les hélicoptéristes bénéficient d'apport de trésorerie en insérant leurs projets d'innovation dans les politiques nationales plus ambitieuses. Par exemple, la société Agusta-Westland en quasi faillite à la fin des années 90, s'est hissée parmi les grands hélicoptéristes grâce à un plan de relance du gouvernement Italien. La situation de concurrence faussée n'est pas spécifique à l'industrie hélicoptériste. Elle se rencontre dans toutes les industries dont les produits assurent l'indépendance des états, à l'instar du secteur énergétique (centrale nucléaire,...). Toutefois, l'industrie des hélicoptères s'en distingue car ses prix restent fixés par le marché. Quand le prix de l'énergie est régulé par les gouvernements, le prix des aéronefs reste soumis au respect des clauses d'accords plurilatéraux d'échanges. [OAC 47].

L'industrie hélicoptériste est née et s'est développée grâce au soutien des armées nationales. Certains appareils (super puma par exemple) sont structurellement très semblables en version civiles et militaires ne différant que de renforts liés à l'emport d'armes et de contre mesure. Cependant les appareils civils ne sont pas transformables en appareils de combat, les systèmes de contrôle des vibrations générées par les canons, leur implantation sur le mat rotor, et les systèmes de gestion des armements étant par exemple trop délicats à importer Inversement, les hélicoptères militaires de combat, très spécifiques par leurs formes optimisées à des fins de furtivité et de non vulnérabilité, n'ont pas de version civile. C'est le cas des Tigre et N90. Les programmes gouvernementaux contribuent toutefois à l'amélioration des appareils civils, les connaissances acquises pour les développer étant ré exploitables. Par exemple, la fabrication de pièces en matériaux composites ou les structures anti crash sont des savoir faire acquis par Eurocopter grâce aux commandes militaires.

3.6 Synthèse

Les hélicoptéristes se définissent souvent comme des intégrateurs d'éléments essentiellement mécaniques de haute technologie. La communauté hélicoptériste est restreinte, en particulier pour des raisons financières. Les coûts sont à l'origine d'un cercle vicieux qui pénalise son développement : les faibles quantités de vente n'incitent pas les industriels fournisseurs ou partenaires potentiels à investir dans ce secteur. Le marché des hélicoptères est pour eux d'autant moins attractif que les exigences de la réglementation sont décourageantes, que l'engagement à suivre les produits pendant plusieurs décennies n'est pas financièrement incitatif, et que l'importance des investissements et la complexité des savoir-faire décuplent les risques financiers. Il en résulte un nombre restreint de fournisseurs potentiels et de nombreux monopoles, qui freinent la compétition et génèrent des augmentations de coûts, limitant à leur tour les ventes. Ce cercle vicieux ralentit le développement des innovations : les coûts quels qu'ils soient étant trop élevés, les hélicoptéristes n'ont qu'un marché réduit et un faible nombre de partenaires possibles. Les produits trop spécifiques ne sont jamais améliorés si les hélicoptéristes ne s'en chargent pas eux-mêmes. Par ailleurs ne représentant qu'un pourcentage minime des ventes de leurs fournisseurs, ils sont condamnés à être délaissés au profit de clients plus importants dès que des difficultés de délais surviennent.

Les innovations sont naturellement orientées vers la réduction de coûts. Cette réduction incite à concevoir de nouvelles solutions à partir d'éléments standards et à rechercher de nouveaux fournisseurs dans les pays low cost. Ces tentations sont toutefois limitées. D'une part le recours à des éléments standard réduit le périmètre du cœur de métier des hélicoptéristes et les privent d'opportunités de différenciations par rapport à leurs concurrents. D'autre part, les délocalisations vers les pays low cost sont ralenties par les instabilités politiques, le manque de savoir faire requis, la réticence des militaires et la crainte de fuites technologiques. Pour réduire les coûts, les hélicoptéristes s'orientent également vers la simplification du design et la consolidation des partenariats. Le partage des frais de développement et l'anticipation de la coûteuse gestion des obsolescences commerciales permettent en effet de fortes économies. Les réductions de coûts ne peuvent par ailleurs pas se faire au détriment de la performance, comme cela peut être le cas dans les automobiles, car la capacité d'un appareil à réaliser des fonctions est un facteur clé d'achat. Les réductions visent dès lors les coûts de maintenance et de maintien en condition opérationnelle.

Les innovations sont orientées vers la conception de nouvelles formules, l'hélicoptère étant un produit en phase de maturité dont le renouvellement doit être anticipé. La taille restreinte du secteur est une fois encore pénalisante. Le recours à des fournisseurs communs estompe les différences en concurrents et minimise leurs avantages compétitifs.

Les hélicoptères sont des produits de haute technologie dont les spécificités de conception semblent interdire l'emploi de solutions mises au point dans d'autres secteurs industriels. Pourtant, si l'industrie hélicoptériste est particulière, des innovations sont transférables.

- En premier lieu, certaines peuvent être importées des avionneurs. Soumis aux mêmes contraintes de minimisation de la masse et de certifications, ils recherchent des matériaux des outils de production et des logiciels d'optimisation de forme utilisables par les hélicoptéristes.
- En second lieu, des innovations sont importables des industriels de l'armement et de l'espace, qui peuvent fournir de nombreux produits de navigation ou de guidage. Les similitudes des problématiques rencontrées ont motivé la reprise d'Eurocopter par EADS, pour bénéficier de la mutualisation des recherches.
- En troisième lieu, des innovations des industriels du transport sont intégrables, à quelques adaptations près. Les hélicoptéristes peuvent bénéficier de solutions développées par les constructeurs de bus, de tracteurs ou de machines spéciales destinées aux mines et aux forages pour transmettre des fortes puissances. Ils peuvent également bénéficier des recherches conduites par les constructeurs automobiles et leurs équipementiers en particulier sur les procédés anticorrosion, les traitements de surface, et les procédés de contrôles et de qualité des pièces, ou bien encore d'étanchéité de l'habitacle.
- Enfin, des innovations sont transférables ponctuellement. Par exemple les producteurs de jeux vidéos développent des accessoires (Joy stick) dont l'ergonomie peut être reprise pour les commandes de vol, les fabricant de matériel médical pour les chirurgiens opérant à distance peuvent fournir des systèmes de retour d'effort importables pour des commandes de vol électriques.

Innover repose dans ce cas sur la capacité à identifier des sources de transferts technologiques, c'est-à-dire sur la culture technique des acteurs.

caractéristique		Causes majeures	Conséquence pour les projets d'innovation
commerciales	Faible quantité de vente	Le prix élevé des appareils limite le marché	Le pouvoir de négociations des clients est accru
	Forte concentration des industriels	Les industriels sont dissuadés par le faible potentiel de vente. au regard des investissements et des contraintes légales	Le choix de partenaires est restreint Le partage de fournisseurs homogénéise l'offre globale des hélicoptéristes
	Vente aux professionnels	Les coûts restreignent le marché à des besoins utilitaires	Le modèle commercial (produit ou service) est fondamental pour leur orientation
industrielles	Environnement normatif exigeant	La sécurité de tout élément du vol doit être démontrée par de nombreux tests de certification	Les développements sont plus longs et plus onéreux, et freinent les cycles de conception.
	Nombreux Monopole	Le choix restreint de partenaires et le prix des développements limite la concurrence	Le pouvoir de négociations des fournisseurs dont les approvisionnements dépendent est accru.
	Gestion de l'obsolescence	Le maintien en condition opérationnelle doit être possible pendant presque 70 ans	Le vieillissement des technologies doit être anticipé dès l'origine des projets.
	Longs délais d'approvisionnements	Les ventes aux hélicoptéristes ne représentent qu'une part infime de l'activité de certains fournisseurs.	Des ressources financières sont immobilisées sous forme de stock
technologiques	Maturité du produit	Le produit n'est pas optimisé car la concurrence est limitée	La compétition se recentre sur les coûts
	Minimisation de la masse	La masse se répercute sur le coût d'exploitation en pénalisant la consommation de carburant.	Nombre de solutions ne sont pas importables d'autres industries
	Utilisation en environnement hostile	Les zones d'opérations sont souvent situées près du sol, en mer et par tout temps.	Les coûts en maintenance augmentent et peuvent contrarier les ventes.
	Contrainte de navigabilité	Le transport d'être humains exige des règles sécuritaires	Les concepteurs ont des responsabilités morales et juridiques
	Vibrations	Les phénomènes aérodynamiques et mécaniques sont couplés	Les études théoriques sont complexes et nécessitent des employés très qualifiés
	Motorisation et Transmission de forte puissance	Le vol, en particulier stationnaire, exige de générer une forte portance Les chemins d'efforts sont souvent uniques.	Les performances des hélicoptéristes dépendent de celles des les motoristes La combinaison des contraintes de forte puissance et masse minimale implique la création de mécaniques spécifiques.
	stratégiques	Cœur de métier d'intégrateur	Les composants sont de technologies très variées
Produit personnalisé		Le pouvoir élevé des clients leur permet d'imposer des adaptations	Les adaptations accaparent les concepteurs au détriment des projets plus créatifs
P.I. ciblée		Les contraintes de certifications des pays limitent les copies	La culture de dépôts de brevet n'est pas développée
politiques	Influence des militaires	Les hélicoptères sont des moyens stratégiques pour les militaires	Les possibilités de vente, de partenariats ou de dépôts de brevets peuvent être limités
	Influence internationale	Les évolutions géopolitiques conditionnent le comportement des états clients	Des intervenants extérieurs aux projets s'invitent dans leur gestion décisionnelle

Tableau 7: Spécificités industrielle: principales causes et conséquences pour l'innovation

Conclusion

Les possibilités de transferts technologiques sont perçues différemment par les ingénieurs et les consommateurs. Cette différence est à l'origine d'idées fausses quand aux possibilités d'innovations. Les problématiques technologiques et industrielles des hélicoptéristes ne sont pas celles d'autres secteurs industriels, essentiellement à cause de la taille réduite du marché, et des impératifs de gestion des contraintes sécuritaires. Quand les industries nucléaires, pharmaceutiques, fortement réglementées, sont essentiellement préoccupées par la faisabilité de leurs solutions, les hélicoptéristes recherchent des solutions efficaces et optimales. Les divergences d'objectifs des projets, de nature des essais et de leurs validations, différencient les approches industrielles des hélicoptéristes de celles d'autres secteurs. Cependant, certaines solutions restent transférables. A trop se focaliser sur les spécificités de leur secteur, les hélicoptéristes pourraient à tort se priver de les importer.

Le secteur hélicoptériste est dominé par les problématiques de coûts (achat, maintenance, de développement, de production...). Elles sont à la fois sources et freins d'innovation. Elles focalisent l'attention des concepteurs sur les composants à faire évoluer, mais elles génèrent en même temps des comportements auto censeurs. Assumer des investissements financiers élevés n'est en effet pas forcément aisé. Les achats, en charge des négociations de coûts, orientent stratégiquement les innovations, en décidant de sécuriser les bénéfices à long terme, ou d'accepter la prise de risques inévitables liées aux nouveaux projets.

L'examen des différentes variables met en lumière l'importance de la logique industrielle dans les projets d'innovation. Les monopoles étant courants et le recours à de nombreuses hautes technologies indispensable, les jeux de partenariats deviennent essentiels. Apparaissent alors des problématiques juridiques, liées à la répartition des rôles et responsabilités de chacun, à la protection d'avantages commerciaux, ou encore à la répartition des bénéfices à venir. Si la propriété intellectuelle a pour mission d'enregistrer les biens de chacun, ce sont les achats qui négocient les contrats. Les acheteurs, à l'interface entre les concepteurs et les juristes occupent ainsi une place centrale dans les projets d'innovation. Les contrats qu'ils négocient servent non seulement les projets à un moment donné, mais ils décident des marges de manœuvre des futurs projets, en anticipant notamment des problèmes d'approvisionnements ou d'obsolescence.

Deuxième partie
Analyse et Propositions

4. Les programmes d'innovations

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de mettre en évidence les facteurs clés influant sur la trajectoire des programmes, pour dégager des conditions de conduite favorables à leurs aboutissements. Ces dernières années, de nombreuses dérives, budgétaires ou temporelles, ont été constatées dans les programmes de conception d'hélicoptères. Le retour d'expérience a pour but de dégager des causes pénalisant les programmes pour optimiser leurs chances de succès.

La première partie est centrée sur l'analyse de programmes réels. Certes, aucune loi universelle ne peut être dégagée à partir d'un nombre fini d'exemple. Chacun des programmes est unique, car conduit avec des objectifs propres et dans un contexte temporel donné. Une démarche exhaustive n'est donc pas envisageable pour dégager les facteurs dont la maîtrise ou la négligence explique le devenir des programmes. Mais à partir de ces exemples, il est possible de mettre en relief les facteurs essentiels. Cette étude a décidé d'en retenir cinq suffisamment variés pour couvrir un éventail de situation représentatif et suffisamment caractéristique pour faire apparaître les problématiques récurrentes.

La seconde partie est basée sur l'étude de travaux similaires ayant déjà été conduits. Dans cette littérature, trois facteurs sont omniprésents : la sous estimation des défis technologiques à relever, la complexité des programmes et la faiblesse de la gouvernance. Cette étude les discute pour retenir le rôle prédominant du dernier et souligner le rôle fondamental joué par les entrepreneurs, à travers l'importance de leurs acquis. Elle retient les travaux de K. Eisenhardt [EIS 01] qui insiste sur le faible nombre et la clarté des principes à mettre en œuvre pour structurer les projets sans entraver la liberté d'action des acteurs.

La conclusion propose une approche judicieuse en vue de l'alignement des influences des différents acteurs des programmes. Elle en déduit une perspective stratégique pour le constructeur Eurocopter et une manière de la mettre en œuvre pour préserver le bien commun concrétisé par le programme les réunissant.

4.1 Les programmes d'hélicoptères

L'avenir des programmes d'innovations de l'industrie hélicoptériste est peu prévisible. La plupart ont connu ces dernières années de graves problèmes dans leur exécution. Par exemple l'arrêt du V22 a été envisagé à plusieurs reprises, le programme RAH comanche a été abandonné, le NH90 (Nouvel Hélicoptère des années 90) d'Eurocopter démarre à peine sa commercialisation. Au-delà des hélicoptéristes cette situation est partagée par tous les acteurs du secteur aéronautique, à l'instar du Boeing 787 Dreamliner, de l'A400M d'Airbus Military (programme de 20 milliards d'euros prévu avec 4 ans de retard et un surcoût de 38% [SEN 09]), ou du système de radionavigation par satellite Galileo (11 ans de retard les nouvelles technologies alors considérées comme des innovations sont déjà dépassées [CAU 10]).



Figure 51 : Grands programmes retardés

Le prestigieux secteur aéronautique semble être devenu incapable de mener à terme ses grands programmes en respectant les cahiers des charges initiaux. Le secteur apparaît financièrement moins attractif, nécessitant des investissements de plus en plus élevés pour des programmes de plus en plus risqués. La part des fonds qu'il représente comme celle qu'il génère dans le PIB des pays ne cesse de décroître. Ils ont été réduits de deux tiers depuis les années 90 aux Etats-Unis. Cette chute est comparable à celle de l'industrie manufacturière, qui ne représente plus que 10% du PIB américain. Locomotive de la science et de l'innovation jusque dans les années 80, l'industrie aéronautique a désormais perdu pour les investisseurs le prestige qui forçait leur attraction, pour ne devenir qu'une industrie lotie comme les autres. Ce paragraphe présente plusieurs programmes dans le but de mettre en évidence les facteurs essentiels à appréhender pour prédire leur succès ou échec commercial.

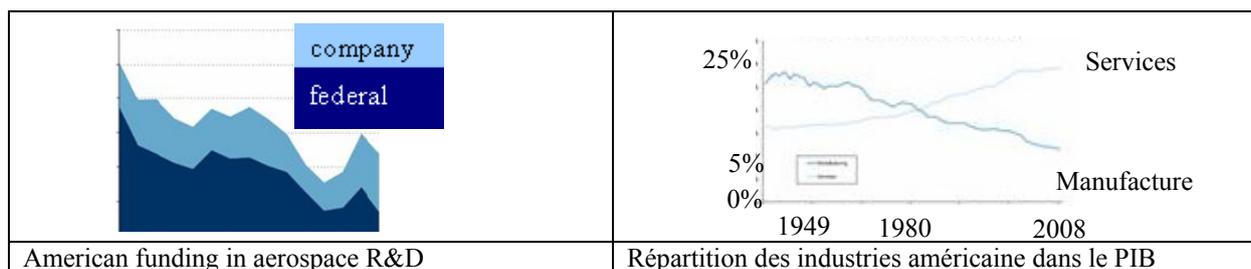


Figure 52 : Evolution de l'industrie aéronautique américaine

4.1.1 Boeing Bell V22 « Osprey »

Le Boeing-Bell V-22 Osprey est un appareil convertible militaire américain dont le développement met en lumière les conflits qui opposent les objectifs de maturation des nouveaux concepts technologiques et les impératifs de rentabilités contraints par les réalités économiques et industrielles.

Le V22 est le premier appareil commercialisé à être conçu sur la base d'une formule à rotors basculants. Elle lui permet de décoller et atterrir verticalement comme les hélicoptères, puis de voler en croisière comme un avion. Il atteint les 300kts en croisière, quand les hélicoptères traditionnels dépassent à peine les 150 kt. Multi-mission, il a été souhaité par US-Navy pour combler plusieurs besoins opérationnels des forces au combat. Pour amener le concept de rotor basculant du stade d'un prototype de recherche à la version opérationnelle, des efforts financiers démesurés ont dû être consentis. Le programme, non viable commercialement dans le cadre d'une entreprise autofinancée, n'a pu aboutir que grâce aux fonds apportés par le département de la défense américain.

Les formules de convertibles ont été imaginées très tôt dans l'histoire de l'hélicoptère. Bell a ainsi lancé dès les années 50, avec le soutien de la NASA et de l'armée américaine, un programme d'aéronefs à rotor basculant (Transcendental 1-G). Mais sans connaissance aérodynamique approfondie et sans moyens technologiques suffisants, les efforts de recherche n'ont pas abouti à des réalisations commerciales. En 1980, l'échec de la mission Eagle Claw, visant à délivrer les otages américains retenus en Iran, catalyse plusieurs préoccupations gouvernementales. Les huit RH-53 doivent programmer la mission sur deux jours car leur rayon d'action est trop petit pour rejoindre directement Téhéran. Suite à des pannes (pales, défaillance du système hydraulique) de trois d'entre eux, la mission doit être abandonnée. Alors qu'ils rentrent, un vent de sable se lève et un hélicoptère, gêné par l'épais nuage qu'il génère, heurte le C130 qui les accompagne. Huit militaires sont tués et dans l'explosion. Dans la panique, des documents compromettant la CIA sont laissés sur place. La limitation des hélicoptères explique en partie l'échec de la mission. Or à cette période la flotte de l'US Marine Corps doit être renouvelée. L'administration fédérale étant prête à allouer des budgets de recherche conséquents pour rétablir la suprématie technologique américaine dans l'industrie aéronautique, concurrencée par les européens, le développement d'une formule convertible a pu être financièrement envisagé [RAI 03].



Figure 53 : Convertible Bell V22 Osprey

Bell décroche un contrat en 1981 pour développer les appareils convertibles car il a déjà réussi à faire voler en 1977 un prototype d'avion à rotor basculant (XV15). En 1982, le programme « V-22 Osprey » débute à la demande de l'US Navy et l'US Air Force. Bell et Boeing sont cocontractantes l'une pour son expérience dans ce genre d'appareils, l'autre pour son expertise aéronautique et sa solidité industrielle. En 1983, effrayée par le défi technologique à relever, un an de recherche n'ayant produit que peu de résultats, l'US Air Force se retire. L'annulation de ses commandes augmente les coûts de développements par appareils. En 1989, Dick Cheney tente de stopper le programme au vue des dérives en coûts et délais. Mais des lobbyistes du congrès créent la Tilt Rotor Technology Coalition et arrivent à forcer son maintien. Ils sont soutenu par plus de 2000 fournisseurs du V-22. Par la suite, plusieurs accidents graves remettent en cause la faisabilité du programme. En 1991, puis en 2000, des hommes sont tués par suite d'accidents d'origine technique. Tous les Ospreys sont immobilisés pendant 18 mois après le crash d'un V-22 en Caroline du Nord suite à l'aggravation d'une panne hydraulique, mal interprétée par le système de régulation informatique. Au final, le développement du V-22 dure depuis 25 ans soit plus de deux fois la durée du programme Apollo qui a envoyé des hommes sur la lune. Les crashes du V-22 ont coûté la vie à 30 hommes, dix fois les pertes du programme lunaire et tous avant que l'appareil ait vu le combat. L'appareil n'a pas encore abouti opérationnellement.

Aujourd'hui le V22 offre des atouts indéniables à l'armée qui le possède. Pour les missions d'évacuations sanitaires d'urgence tout d'abord, sa vitesse lui permet d'arriver plus rapidement que n'importe quel autre hélicoptère. Capable de parcourir plus de distance, il peut également effectuer trois rotations quand un hélicoptère n'en aurait accomplit que deux ou faire un aller retour dans la journée, quand un hélicoptère aurait été contraint de stationner avant de repartir. Cette capacité à éviter l'immobilisation nécessaire aux hélicoptères offre à l'état major un nouvel éventail de missions, non envisageables jusqu'alors. Son rayon d'action étend la superficie de la zone dans laquelle il peut intervenir. La dissymétrie géographique des zones de combat procure un avantage militaire certain. Elle offre la possibilité d'être basé hors de portée des adversaires et d'éviter d'être exposé aux offensives

ennemies, tout en maintenant les capacités d'interventions. Enfin, la haute altitude à laquelle il se déplace lui permet d'éviter les tirs d'armes légères.



Figure 54 : Nuage de poussière soulevé dans la zone d'atterrissage du V22

Mais si le V22 allie les avantages des avions et des hélicoptères, il en combine aussi les inconvénients. Ni avion ni hélicoptère, cet appareil n'est jamais optimisé pour le vol. Les hélices ont une taille trop réduite pour les phases stationnaires : elles limitent sa capacité de levage au regard du tonnage de l'appareil et occasionne une consommation excessive. Elles génèrent de plus un souffle rotor trop important qui gêne les opérations en mer et certains décollages (soulèvement de débris qui endommagent l'appareil), limitant les zones de pose qui deviennent prévisibles et rendent l'appareil vulnérable aux attaques. En mode avion, les hélices sont trop grandes. Elles imposent aux mécaniques de délivrer une plus grande puissance motrice et les alourdit. Le surdimensionnement des transmissions et la pressurisation de la cabine diminue la charge utile transportable. Par ailleurs, le V22 est très complexe mécaniquement, moins sûr qu'un hélicoptère, et mal adapté au combat. Bien qu'opérationnel, des compléments de recherches sont encore nécessaires pour répondre au cahier des charges initial. Par exemple son système de dégivrage n'est pas fiable, réduisant ses possibilités de mission. Le mode transitoire de la phase de basculement du rotor n'est pas suffisamment maîtrisé. Un phénomène de vortex le rend dangereux car l'appareil n'est pas toujours capable d'autorotation en cas de nécessité. Les ailes et les hélices empêchent les tirs dans certaines directions, créant autant de zones dans lesquelles la riposte est impossible. Enfin, le V22 est très cher à l'achat, en coût opérationnel et en maintenance. Annoncé initialement à 37,7ME pièce, il atteint actuellement près de 100 millions de dollars. Le prix de l'heure de vol avoisine 11000\$, soit plus du double des prévisions initiales [GAO 09]. Les frais de maintenance demeurent trop élevés car la fabrication des pièces spécifiques au basculement des rotors n'est pas entièrement maîtrisée. Leur manque de fiabilité oblige à les approvisionner en plus grande quantité sur les théâtres opérationnels, alourdissant les coûts logistiques et créant des frais d'immobilisation inutiles, de pièces comme d'appareils au sol. Plus de 75 milliards de dollars sont ainsi budgétés pour maintenir en conditions opérationnelles la flotte de V22 pendant les dix ans à venir.

Le retour d'expérience du programme V22 est mitigé. L'appareil V22 est un des fleurons technologiques de l'armée américaine, mais parallèlement son développement est considéré comme un échec financier. Les promesses techniques éblouissantes de l'appareil ont suffi à convaincre de poursuivre les recherches jusqu'à leurs aboutissements, mais Bell en a souffert. Ses ressources ont été accaparées trop longtemps sans être rentabilisées et il n'a pu se positionner sur d'autres marchés qui ont continué à évoluer sans lui. Les 12 milliards de dollars investis ne seront jamais amortis et la nécessité d'investir encore près de 100 milliards de dollars en achat et support pendant les 10 années qui viennent n'y aide pas. La principale cause de dérive du programme a été l'impossibilité technique de respecter les engagements. Les délais ont plus que doublés, augmentant de faits les investissements. Les conséquences commerciales ont amplifié le déficit budgétaire, les commandes chutant de 1000 appareils initiaux à 458. Technologiquement, le potentiel incomparable de l'appareil leur offre une supériorité tactique, mais stratégiquement l'efficacité de leurs moyens n'est peut-être pas optimale. Le V22 n'est qu'un moyen possible pour gagner en supériorité.

4.1.2 Sikorsky RAH-66 « Comanche »

Le comanche RAH-66 est un prototype d'hélicoptère militaire américain dont le développement met en lumière la versatilité du marché et le pouvoir élevé de négociations des clients. Le comanche est un hélicoptère aux performances technologiques très avancées. A l'inverse du V22, ayant réussi à aboutir sur les promesses de ses caractéristiques technologiques, les spécificités développées pour différencier le comanche sur le marché, ont été à l'origine de l'abandon du programme.

En 1983, l'armée américaine décide de se doter d'une famille d'hélicoptères légers multi missions. Après que les avions, les missiles et les bateaux soient devenus furtifs, c'est au tour de l'hélicoptère de réduire ses signatures thermiques, radars, acoustiques et visuelles. Sikorsky doit fournir des appareils répondant à ces nouveaux critères, auxquels sont ajoutées ceux d'opérabilité par un seul pilote embarqué et des contraintes de minimisation des coûts. Cependant, dès 1988, l'armée réévalue ses besoins. Elle se recentre sur des missions de reconnaissance et d'attaque. Le programme construit depuis cinq ans sur la base d'une commande de 5 023 appareils doit être corrigé. Les coûts, désormais répartis entre 2 096 appareils augmentent mathématiquement. Par ailleurs, la caractéristique d'opérabilité par un seul pilote est également écartée. L'appareil doit devenir biplace. Le renforcement de la structure conséquent et les dérives de poids générées par les nouveaux systèmes embarqués

entraînant une nouvelle augmentation des coûts de développement. Elle provoque une chute des ventes à 1 213 appareils, induisant mathématiquement une nouvelle augmentation.

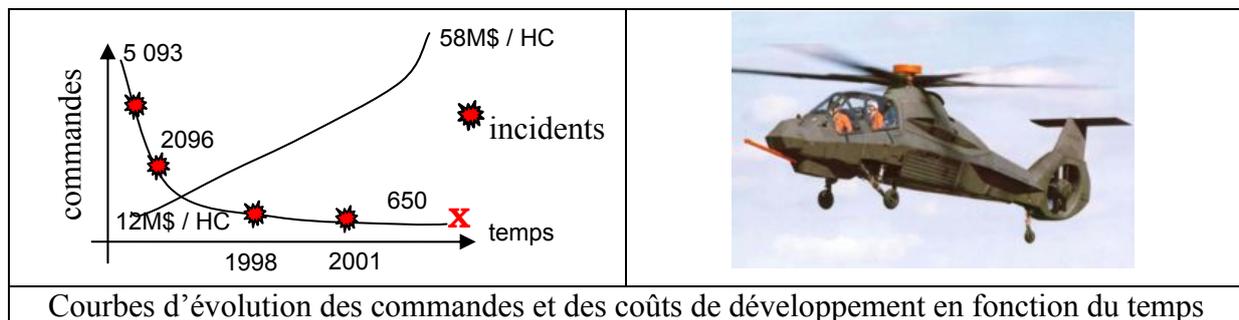


Figure 55 : RAH-66 Comanche

Pour conserver le marché restant, la stratégie commerciale vise à démontrer la supériorité opérationnelle offerte par le comanche par rapport à l'OH-58 « Kiowa Warrior » en fonction à l'époque. Sikorski mise sur l'ensemble de ces avancées technologiques pour contre balancer les dérives de coûts et de temps du programme. Le comanche est un appareil technologiquement ambitieux. Il est furtif. Sa signature radar est 600 fois inférieure à celle d'un apache. Sa poutre de queue est équipée de dilueurs de jet dont la fonction est de réduire la signature thermique de l'appareil en mélangeant les gaz des d'échappement à l'air ambiant lors de l'éjection. Ses armements embarqués très sophistiqués sont rétractables. (Cette dernière caractéristique est appréciée par les tacticiens car elle permet de ne pas dévoiler les capacités de feu de l'appareil, mais elle laisse nombre de pilotes perplexes car elle dégrade la réactivité de frappe en combat de par le temps de sortie de soute des armes). Par ailleurs le comanche est doté de nombreuses innovations, comme le mini-manche électrique, très prometteuses dans des perspectives de pilotage automatique à plus long terme.

En 1992, puis en 1994 le programme est retardé par des coupes budgétaires contraignant à répartir les dépenses dans le temps. En 1996, un prototype décolle pour la première fois, mais seulement 105h sont effectuées. En 1998, les nouvelles technologies n'étant pas matures, un nouveau plan est nécessaire pour garantir la tenue des délais. Le recours à de nouveaux procédés impose de modifier les habitudes et crée un climat d'urgence perturbant fortement les équipes. En avril 2000, la phase de production peut enfin commencer mais nécessite 3,15 milliards de dollars pour débiter. [RAI 02]

La modification du contexte militaire, orienté vers la guerre contre le terrorisme et non plus vers un terrain de conflit en Europe centrale, ne rend plus primordiales les avancées technologiques du comanche. La furtivité n'est pas un avantage déterminant dans les guerres

asymétriques, comme celles d'Irak ou d'Afghanistan, l'adversaire ne possédant pas de moyens anti-aériens sophistiqués. Les évolutions techniques rendent les drones plus attrayants que les hélicoptères pour les missions de surveillance. La commande s'écroule à 650 appareils. [ARM 10] La réduction des commandes d'une part, l'augmentation des investissements et des délais de l'autre ont modifié la courbe de rentabilité du programme. Plus les investissements sont étalés dans le temps, plus ils sont difficiles à amortir. Les commandes s'étant écroulées dans le même temps, il devient impossible d'espérer un retour financier profitable. Le programme coûte désormais plus d'argent qu'il ne peut en rapporter. En 2004, après 21 ans et 14,5 milliards de dollars investis, l'armée arrête le programme comanche. Les nombreux retards, dus aux hésitations sur la définition première, aux coupes budgétaires ou à la complexité des innovations à intégrer ont rendus vain tout espoir de rentabilité financière du programme. Envisagé initialement dans une logique de minimisation de coûts, le prix d'un appareil est passé de 12 à 59 millions de dollars pièce. Les deux prototypes jamais conçus auront ainsi coûtés chacun plus de 7 milliards de dollars [TEC 10].

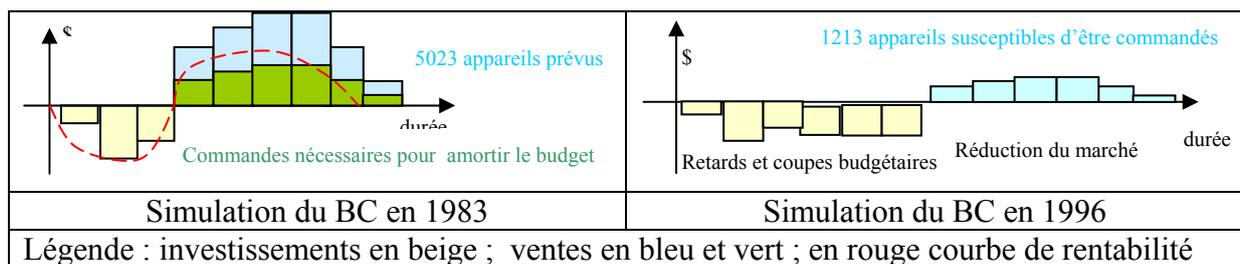


Figure 56 : Evolution du Business Case

Le programme Comanche met en évidence le rôle des clients dans les programmes d'innovation. Non seulement aucune technologie, aussi exceptionnelle soit-elle ne peut s'imposer sans rencontrer son marché, mais en plus les clients des hélicoptéristes sont assez puissants pour modifier les objectifs. En contraignant le constructeur à revoir les hypothèses du programme, les clients ont retardé sa commercialisation, la déplaçant à une époque dans laquelle ses spécificités ne procuraient plus de supériorité opérationnelle majeure. Si l'appareil affiche des performances exceptionnelles, contrairement au V22, nombre des missions qui justifiaient son existence peuvent désormais être accomplies par des concurrents étant apparu pendant son développement : les drones. Les clients expriment leurs besoins mais ils n'ont pas la connaissance du marché pour les traduire en solutions techniques viables commercialement. De plus ils expriment des besoins immédiats, quand les programmes d'innovation nécessitent une vision à long terme si les technologies ne sont pas matures.

4.1.3 Agusta Westland AW139

L'AW139 d'Agusta Westland est un hélicoptère civil dont le succès commercial met en lumière les bénéfices d'un pragmatisme industriel opportuniste pour traduire les besoins clients en solutions techniques. Le constructeur n'a pas cherché la performance technologique, mais à satisfaire au mieux (au plus vite et au moins cher) les attentes identifiées. C'est la construction du programme qui le rend remarquable, et non les caractéristiques de l'appareil.

L'AW139 est un hélicoptère de moyen tonnage biturbine polyvalent, développé initialement par Bell et Agusta, pour transporter une quinzaine de passagers.



Figure 57 : Agusta Westland AW 139

En 1998, Bell et Agusta annoncent la création d'une coentreprise. Bell gagne un partenaire l'aidant à financer le BA 609, convertible civil réalisé à partir des travaux du V22, tandis qu'Agusta bénéficie de l'expérience et du savoir faire de son associé. Agusta a identifié un nouveau segment de marché non exploité par les autres hélicoptéristes, correspondant au transport optimisé pour une quinzaine de passagers. Pour saisir l'opportunité de vendre sans concurrence directe, il faut le commercialiser rapidement, sans laisser le temps aux concurrents de faire la même analyse. Pour réduire les délais, les risques et les investissements, les associés décident de partager le développement en partie, conduites en parallèle par de nouveaux partenaires, très expérimentés dans leur domaine. La réalisation de l'entraînement du rotor anti-couple est confié à Westland, l'avionique à Honeywell, la transmission principale à Kawasaki, les atterrisseurs et le conditionnement d'air à Liebherr et les éléments de cellule à PZL Swidnik, tandis que Pratt & Whitney assure la motorisation. Agusta et Bell assurent la cohérence du programme et la qualification de l'appareil.

Les technologies choisies étant déjà matures et le développement des parties à assembler confié à des spécialistes, le prototype a pu voler en à peine plus de deux ans. Déjà configuré en premier de série, la production est lancée fin 2001 et le premier appareil est présenté en 2002. En 2003, cinq ans après le lancement du programme, la certification Italienne est

obtenue. Seulement 1600 heures d'essais au sol et en vol sont nécessaires. La certification américaine est délivrée l'année suivante, en 2004. En 2005 Agusta, qui a pris le contrôle de Westland, rachète les parts de Bell en difficulté financière, et assure désormais seul la production de l'hélicoptère nommé AW139. Les ventes d'appareils confirment immédiatement la pertinence de l'analyse du marché, 100 appareils ont été livrés en 2007, plus de 200 en 2009, et les commandes dépassent les 400 [AER 10].

Les performances techniques de l'AW139 ne sont pas exceptionnelles mais elles sont bonnes et répondent aux besoins des clients. L'AW139 a une charge utile de 2,5 tonnes transportable à une vitesse de 300 km/h (vitesse moyenne des hélicoptères), un rayon d'action de 900 km et une autonomie de 5 heures. Equipé pour voler en condition météorologique difficile, les importants marchés offshore lui sont ouverts. Sa faible signature sonore externe lui autorise un fonctionnement en centre ville non intrusif et sa cabine est facilement modulable, qualités particulièrement appréciées par les clients civils. La maturité des technologies assemblées est gage de fiabilité. Son avionique est de dernière génération et offre aux pilotes les mêmes avantages que des appareils plus évolués. Enfin, les coûts d'exploitation sont réduits, les préoccupations de maintenance et d'approvisionnement des composants ont pu être envisagées dès la conception, permettant de réduire de l'appareil. Toutes ces caractéristiques expliquent le succès commercial de l'appareil. En revanche, le fait d'intégrer des technologies déjà matures ne permet pas de prendre en compte les aspects environnementaux, les anciennes technologies n'ayant pas été pensées pour respecter l'environnement. Les éléments intégrés existant antérieurement à l'appareil, l'acquisition des savoirs faire est limité. Peu d'amélioration de conception a été apportée, et peu de savoir faire sans doute assimilé.

L'AW139 est un succès commercial à double titre. Il permet tout d'abord à son constructeur de se différencier sur le marché et lui assure des gains financiers importants. Ainsi même si cet hélicoptère n'est pas lui-même innovant, il permet à Agusta de dégager des fonds pour entreprendre des programmes d'innovation. Il contraint les concurrents à modifier leurs stratégies d'investissements, pour investir dans un segment déjà occupé sous peine de laisser Agusta prospérer. Eurocopter a ainsi du lancer en urgence l'EC175, sachant dès le départ qu'il serait fortement concurrencé. Se positionner en premier sur un marché est source d'avantages. Le succès de l'AW139 repose sur la construction industrielle du programme. C'est la justesse de la vision des besoins clients de l'étude marketing, l'analyse pertinente de la valeur à ajouter et la judicieuse répartition conséquente entre partenaires spécialisés qui a permis de tenir ferme les jalons temporels et budgétaires.

4.1.4 Fairey « Rotodyne »

La Rotodyne de Fairey est un appareil de la famille des hélicoptères dont l'échec commercial met en lumière la sensibilité des programmes à des perturbations qui lui sont extérieures. Le constructeur a justement identifié l'évolution du marché et imaginé une solution technique pour répondre aux futurs besoins de ses clients, mais le programme a été dépendant du jeu d'acteurs gouvernementaux.



Figure 58 : Autogyres Fairey

L'autogyre est un type d'appareil différent de l'hélicoptère par sa voilure tournante libre inventé en 1923 par Juan de la Cierva qui s'installe au Royaume Uni pour développer industriellement son invention [LAR 10]. La production reste marginale comparativement à celle de l'hélicoptère dont la formule est plus séduisante. Le rotor des autogyres n'est pas directement entraîné par un moteur mais par le vent relatif généré par la propulsion de l'appareil ou sa chute. Les autogyres ne peuvent pas assurer le maintien du stationnaire, contrairement aux hélicoptères qui offrent ainsi une plus grande plage de manœuvre. La formule de l'autogyre présente cependant plusieurs avantages. Le rotor assurant uniquement la sustentation, le rotor anti-couple est inutile, simplifiant sa conception mécanique et allégeant la structure. Le rotor étant libre, la consommation est réduite et la vitesse de croisière est plus élevée. Elle peut doubler par rapport à celle d'un hélicoptère pour atteindre 700 km/h. Les autogyres sont plus rapide, moins coûteux à l'achat et en utilisation que les hélicoptères. S'ils ne peuvent maintenir le stationnaire, ils peuvent atterrir et décoller. Sur des distances très courtes (pratiquement à la verticale s'ils bénéficient d'un vent favorable).

Au sortir de la seconde guerre mondiale, le constructeur britannique Fairey développe deux prototypes. Le « gyrodyne » qui a un rotor pilotable dans toutes les phases de vol puis le « jet gyrodyne » dont le rotor est entraîné par propulsion de gaz en bout pale, à la manière du Djinn français. Au début des années 50, Fairey identifie un nouveau besoin du marché, la liaison de ville à ville. Fort des acquis de ses expériences passées, le constructeur se lance dans le développement d'une nouvelle formule, le « Rotodyne » pour conquérir ce marché encore

vierge. Le Rotodyne est un autogyre d'une cinquantaine de places, muni de courtes ailes et équipé de deux turbopropulseurs. Il décolle et atterrit verticalement grâce à ses pales propulsées par jet de gaz comprimé. Le gouvernement britannique et l'armée investissent dans ce programme. En 1957, les militaires anglais, dont le budget vient d'être réduit, abandonnent leur soutien pour se concentrer sur la force de dissuasion nucléaire. Le coût du programme est reporté sur les appareils civils. Le gouvernement continue toutefois d'accompagner Fairey, à condition que le motoriste Napier développe le turbopropulseur. En 1958, le prototype décolle avec succès. L'année suivante il atteint les 300 km/h. Non seulement l'appareil est rapide, mais il est sûr. En cas de panne moteur il peut atterrir comme un autogyre. L'intérêt du transport interurbain grandit et les commandes affluent. Aux Etats Unis, l'hélicoptériste Kaman s'engage dans une licence pour développer 200 appareils pour l'armée américaine. Cependant, toutes ces commandes sont dépendantes de la réduction du bruit externe émis par le rotodyne. En 1959, le gouvernement britannique décide de regrouper des nombreuses industries aéronautiques britanniques afin de rationaliser le secteur industriel. Fairey Aviation, la division Hélicoptère de Bristol, et Saunders-Roe sont intégrées à Westland. Leurs projets sont retardés car les diverses fusions perturbent les allocations de ressources. Les financements initialement promis (£5 millions pour le rotodyne) tardent être accordés car ils servent de moyens de pression au gouvernement pour imposer sa politique.

Ces retards permettent aux concurrents de se positionner sur le marché de transport interurbain. Les avionneurs proposent des solutions permettant de transporter plus de passagers, plus rapidement, car les motoristes ont mis au point des turbopropulseurs et des réacteurs plus adaptés. La solution de l'autogyre est économiquement ravalisée. Les turbopropulseurs Tyne commençant à sembler de faible puissance, des appareils de plus grande capacité sont envisagés et Rolls Royce se voit alors confier le financement du développement d'un nouveau turbopropulseur. L'ère des avions de transport interrégionaux est alors lancée et la formule de Rotodyne n'a plus de raison d'être.

L'échec de ce programme tient à des perturbations de son montage industriel. Les conflits d'intérêts entre les divers acteurs l'ont ralenti, non pour des raisons de difficultés de réalisations techniques comme cela a été le cas pour le V22, mais pour des raisons de politiques générales. La volonté de rationalisation s'est focalisée sur les infrastructures industrielles et les outils de production, au détriment des programmes qu'ils soutenaient. Pendant ce temps, le marché a évolué, laissant l'opportunité à des concurrents de se positionner.

4.1.5 Eurocopter « Ecureuil »

L'Ecureuil d'Eurocopter est un programme dont le succès commercial met en lumière la pertinence de la rationalisation de la démarche industrielle. L'écureuil est un hélicoptère léger de la gamme d'Eurocopter. mono ou bi turbine, il permet de transporter 4 passagers. Polyvalent, il assure une grande variété de mission [EST 09], ce qui lui ouvre un marché conséquent. Ce marché est d'autant plus grand que cet hélicoptère est réputé pour sa fiabilité et sa robustesse, tout en étant confortable, au niveau vibratoire. Ses coûts de maintenance sont les moins élevés de sa catégorie. Il peut opérer par conditions météorologiques extrêmes, en zones très chaudes comme très froides.



Figure 59 : Ecureuils

En 1972, Eurocopter souhaite lancer la production d'un nouvel appareil destiné à remplacer les alouettes. Pour être compétitif, les coûts d'achat et d'entretien de l'appareil doivent impérativement être bas (ne pas dépasser 1 million de francs à l'époque). Les réductions de coût par rapport aux possibilités de l'époque ne doivent pas se faire au détriment de la performance. Pour tenir cet objectif ambitieux, Eurocopter met en œuvre de nombreuses innovations, organisationnelles et technologiques. La société rationalise la production industrielle de ses hélicoptères. Elle reprend une nouvelle notion développée la même année par le « Department of Defense » américain, (DoD) pour sa politique d'achat. Connue sous le nom de « Life Cost Cycle » (LCC), cette notion distingue les coûts générés par l'appareil tout au long des différentes phases de son existence, depuis son développement, sa production...jusqu'à son extinction. Des études statistiques montrent que 75% du coût du produit sont les conséquences de choix opérés pendant la phase de conception. Pour améliorer ses performances pendant cette phase, Eurocopter s'inspire des méthodes de l'industrie automobile de l'époque. L'écureuil est pensé comme le pendant aéronautique de la 2 CV de Citroën. La méthode de Conception par Coût Objectif (CCO), également connue sous le nom « Design to Cost » est retenue. Elle consiste à envisager dès la définition les moyens d'exécution avec lesquels seront réalisées les pièces dessinées pour en accepter les coûts.

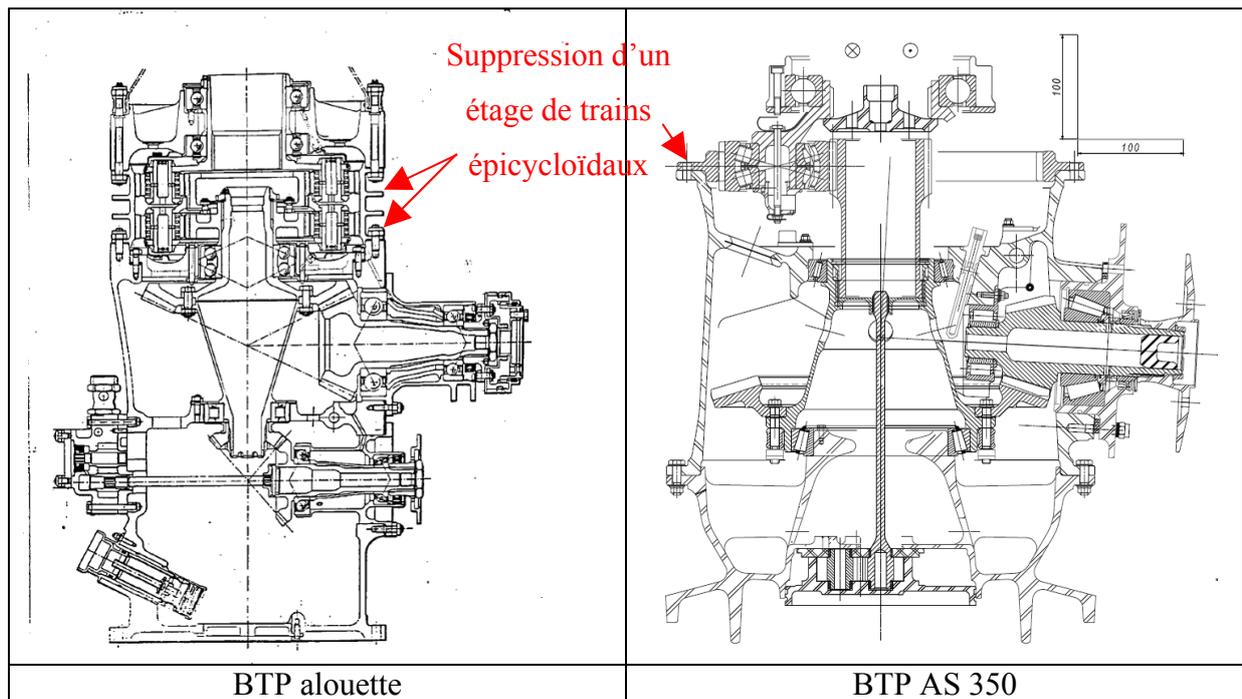


Figure 60 : Simplification des boîtes de transmission

Les coûts sont calculés par section spécifique pour identifier l'origine des dérives au plus tôt (assurance, marketing, charges administratives, main d'œuvre, approvisionnement). En ce qui concerne la production, les compagnons ne sont plus rémunérés à l'heure mais en fonction de tâches globales effectuées, sur lesquelles ils engagent leur responsabilité pour en assurer la qualité. Cette mesure permet de réduire les coûts de contrôle. Pour réduire les coûts de fabrication, de nouveaux procédés apparissent : le réservoir devient rotomoulé. De très nombreuses pièces sont travaillées jusqu'à être réalisables par emboutissage et non plus par usinage, trop coûteux. De nouveaux matériaux font leur apparition. L'aluminium et ses procédés de fabrication développés par l'automobile sont introduits dans l'industrie hélicoptériste. La verrière est réalisée pour la première fois en polycarbonate. Les pales désormais en composite ont une durée de vie quasi illimitée. Par ailleurs, le nombre de pièce est réduit par dix par rapport à l'alouette. Le rotor anti-couple devient par exemple une pièce monobloc, comme l'empennage. Avec l'invention du Starflex, la souplesse des fibres de verre permet de s'affranchir des articulations et le nombre de pièces moyeu rotor diminue de 70% (et le coût d'achat de 50%). Pour la BTP, ce sont 50% de pièces en moins, entraînant une réduction du coût de fabrication de 40% et de 60% de celui de maintenance. La structure est elle aussi repensée. La cabine est composée de sections semi monocoque soudées par ultra son. Les portes et d'autres éléments de structure sont réalisés en tôles auto-raïdiées. Les éléments de structure pré-troués sont imaginés pour permettre un « montage mécano » plus

facile. Le temps d'assemblage en chaîne est réduit de 77% [SEI 08]. Des réductions de coûts supplémentaires sont générées par la filière achats qui s'ouvre à des fournisseurs en dehors du cercle aéronautique alors traditionnel. Des pièces sont par exemple achetées aux constructeurs automobiles pour bénéficier des faibles coûts de leur production de masse (poignées de portes,...) Le coût d'achat d'un radiateur à huile est ainsi divisé par 10. Le premier prototype vole en 1974 soit à peine deux ans après le lancement du programme. et la fabrication série débute en 1978. La tenue des délais initiaux conforte les réductions de coûts réalisées. L'écureuil est l'appareil d'Eurocopter qui a exigé le plus d'innovation.

Depuis sa conception, l'écureuil (sous ses différentes versions) est leader sur son marché, remportant plus de la moitié des ventes sur son segment. Le coût direct d'opération (incluant les frais de pilote, assurance et maintenance de l'appareil) avoisinant les 400 € de l'heure, reste aujourd'hui encore au moins 10% inférieur à ceux de ses concurrents. Ces derniers offrent parfois de meilleures performances, à l'instar de l'aW119, mais pour des coûts bien supérieurs. Le succès de l'écureuil tient essentiellement au compromis coût-efficacité qu'il offre au client et sa polyvalence. Le succès du programme réside dans la gestion de la conception. Les objectifs de performance initiaux n'ont jamais été remis en cause. Les itérations nécessaires pour les satisfaire n'ont pas engendré de délais et budgets supplémentaires, car les technologies importées étaient matures ou bien la simplification du design qu'elles offraient générait des gains compensant les travaux de leur mise au point.

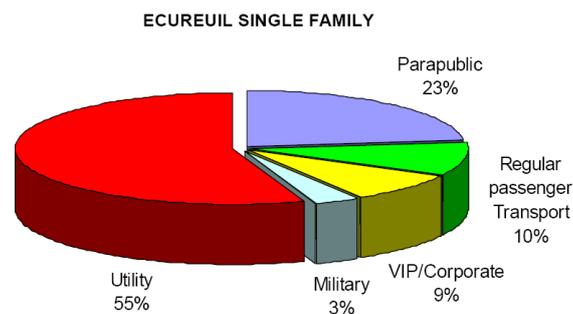


Figure 61 : Polyvalence de l'Ecureuil

Actuellement aucun appareil moderne ne le concurrence sur son segment. Bien que conçu dans les années 70 il reste leader car il est difficile de faire mieux. En effet, si les technologies ont évolué, les prix et la réglementation en ont fait de même. Les nouveaux matériaux composites ne sont pas compétitifs, le rapport gain de masse / prix n'étant pas avantageux pour des appareils légers, et la réglementation demande plus de redondances qu'à l'époque. Ainsi, cet appareil continue d'être un produit phare d'Eurocopter.

4.1.6 Synthèse

Les cinq programmes ont été retenus pour illustrer la diversité des situations rencontrées par les hélicoptéristes et servir de support aux réflexions à conduire pour présager de l'avenir de nouveaux programmes. Les programmes peuvent être différenciés en fonction de l'objectif ayant motivé leur lancement : **technologique, commercial ou industriel** .

- Le V22 Osprey et le RAH-66 comanche sont des exemples de programme à visée technologique. Ce sont les prouesses technologiques (la vitesse pour l'un, la furtivité pour l'autre) qui leur procurent leurs avantages commerciaux devant motiver l'achat
- L'AW139 et le Rotodyne Fairey sont des programmes à visée commerciale. C'est l'identification d'un nouveau marché qui a motivé leur lancement (le besoin de transport de 8 passagers pour l'un et le transport inter urbain pour l'autre)
- Enfin l'écureuil a une vise industrielle. Le programme a été motivé par la volonté de rationaliser la production. L'optimisation de l'outil industriel a été le moyen retenu pour maîtrise des coûts et proposer un appareil au ratio performance/ coût avantageux.

☹️ Quels que soient les types de programmes, les causes d'échecs sont multiples. Elles sont essentiellement de nature

- **technologique** : la sous-estimation des défis technologiques à relever a considérablement modifié le programme (contrôle de la phase transitoire du V22, furtivité du RAH, fixation des structures composites du Dreamliner par exemple)

- **économique** : les évolutions du marché ont réduit l'attraction financière des programmes. Que les clients aient modifié leur exigences (1 pilote puis 2 pour le comanche) ou que les caractéristiques du produit qui justifiaient son existence ne soient plus adaptés au marché, (le comanche a un intérêt dans la lutte antichar, mais pas dans une guerre contre le terrorisme par exemple), la rentabilité des investissements a été considérablement réduite.

- **sociopolitique** : Les stratégies globales des entreprises (jeux de fusions, acquisitions par exemple) perturbent les programmes en cours en modifiant les priorités des dirigeants et ce indépendamment de la tenue des objectifs initiaux, (rachat de Fairey par Westland). Les ressources sont accaparées par d'autres programmes et la mobilisation devient insuffisante.

☺ Les raisons du succès sont plus difficiles à dégager que celles entraînant les échecs. Quand un programme met en œuvre des technologies matures, un autre cumule les innovations, quand l'un engage sa volonté pour itérer jusqu'à trouver une solution satisfaisante, un autre se dispense de prototype et cependant tous aboutissent. Aussi différents soient-ils ces programmes ont toutefois en commun d'afficher :

- une bonne **temporisation entre le produit et le marché**. La stratégie et le marketing ont réussi à identifier un segment permettant au produit de se positionner. Le rapport coût / performance est bon, « le client en a pour son argent » et le contexte du marché est favorable (une coïncidence a permis de synchroniser l'arrivée du produit et une demande d'un groupe de consommateurs).

- une **adéquation des méthodes mises en œuvre au regard de l'objectif** fixé. Les constructeurs ont assurés une cohérence entre le programme et la manière de le conduire. Les fournisseurs ont été associés à la démarche ou choisis en fonction.

L'examen des programmes alerte le lecteur sur la variété des champs à parcourir pour tenter de prévoir les facteurs clés expliquant le destins des innovations. S'il n'existe pas de causes expliquant le succès ou l'échec des programmes, de grandes tendances transparaissent tout de même : - pour les succès : important travail amont d'étude du marché et du réseau industriel - pour les échecs : la versatilité des exigences clients et la difficulté des entreprises à s'organiser (faible gouvernance)

Objectif		Technologique		Economique		Industriel
Exemples		V22- Osprey	RAH 66 Comanche	AW 139	Fairey Rotodyne	Ecureuil AS 350
Contexte	Constat	Flotte navy et army à renouveler	Besoin d'appui terrestre	Identification d'un segment de marché vierge	Développement du transport inter urbain	Faible performance de l'outil industriel
	Argument de vente	Vitesse (extension du champ opérationnel)	Furtivité (invulnérabilité)	Rapport performance/coût	Rapport performance/coût /infrastructure	Rapport performance/coût
	Visée stratégique	Avoir un produit unique	Offrir des performances inégalées	Profiter d'une opportunité pour entrer du cash	Anticiper un besoin pour être leader	Se doter des moyens de durer dans la compétition
Projet	Technologie	Nouvelle formule convertible avion/HC	Matériau composite et énergie électrique	Assemblage de technologies matures	Nouvelle formule Gyrodyne	Nouveau montage mécano – matériau composite
	Innovation	De rupture	De rupture	Incrémentale	De rupture	De rupture
	Process	Prototype	Prototype	Pas de prototype	Prototype	Prototype et tests itératifs
		recherche théorique	Nouvelle organisation	Rapidité d'exécution	Intégration de technologies testées	Nouvelle méthodologie: Design to cost
	Gouvernance	Très nombreux partenaires épars	Changement d'attente du client(1 puis 2pilotes)	Complémentarité des partenaires	Changements de priorités	Réseau de fournisseurs associés à la démarche
Changement de leader en cours de projet		Nouveau type de management	Bonne étude marketing - Coordination du partenariat	Changement de leader en cours de projet	Benchmark efficace – Tenue des objectifs initiaux	
issue	Evénement	Déresponsabilisation au profit d'un lobby	Réorientation du marché (menace soviétique)	Confirmation de la demande off shore	Avènement des turbo propulseurs	Forte croissance de la demande civile
	Retour client	Consommation excessive – peu fiable	Jamais commercialisé	satisfaisante	Trop bruyant – rapport coût / km dégradé	satisfaisante
Facteur de succès ou d'échec		technologique : Immaturité théorique faible gouvernance	Economique : Cumul d'innovations faible gouvernance	Bonne temporisation et adéquation des méthodes	Sociopolitique : faible gouvernance	Bonne temporisation et adéquation des méthodes

Figure 62 : Comparaison des programmes

4.2 Retours d'expérience

Ces dernières décennies, les programmes hélicoptéristes ont très souvent connus des dérives ont été contraints de corriger leurs ambitions initiales financières ou techniques. Quelles qu'en soient les causes, ces dérives contrarient les investisseurs réticents à s'engager dans des programmes aux devenirs incertains.

La prise de risque est au cœur de l'activité industrielle. Les premiers risques sont stratégiques. La tâche la plus hasardeuse est sans doute d'anticiper le potentiel des futurs marchés. Mais que les orientations soient judicieuses ou erronées, certains programmes dérivent et d'autres non et ce dans tous les secteurs d'activités. Ces risques ne freinent donc pas les investissements. Les types de risques sont liés au déroulement des projets, donc l'éventualité de perturbations est conditionnée par les méthodes de gestion déployées. Ces méthodes n'induisant pas dans les autres secteurs industriels les dérives constatées dans l'aéronautique, ce ne sont pas elles qui sont incriminées, mais leur application. Une mauvaise appréhension des objectifs à atteindre, de l'organisation des tâches et du suivi des actions apparaissent comme les causes de dérapages dans la gestion des programmes. Régulièrement, l'ampleur des capitaux mobilisés force des organismes gouvernementaux à expliquer les disfonctionnements, des finances publiques ayant été engagées ([SEN 09], [GAO 09]). Ces études ont pour objectifs de mettre en lumière l'origine des dérives et de recommander aux industriels des pratiques pour les limiter efficacement à l'avenir. Dans cette littérature, trois raisons sont fréquemment invoquées :

- la sous-estimation des défis technologiques à relever
- la complexité des programmes
- la faiblesse de la gouvernance.

Les actions conséquentes les plus souvent conseillées visent à consolider les procédures de gestion des risques, en amont ou en cours de projets, à étendre les contrôles des informations remontées, à renforcer le leadership et à responsabiliser les partenaires. Cette thèse approuve cette analyse et la reprend en insistant sur la culture des innovateurs. Les évaluations technologiques et la complexité des programmes sont discutés. Les difficultés de gouvernance ne sont pas abordées, le sujet ayant été jugé trop sensible. Elle conclue cette discussion en déclinant quelques suggestions applicables par Eurocopter.

4.2.1 Défis technologiques

De nombreux programmes aéronautiques technologiquement ambitieux ont connu des retards excessifs ces dernières années. Une des explications avancées est la sous estimation de l'ampleur des défis à relever ou la surestimation des capacités des entreprises à les appréhender. L'analyse de divers programmes d'hélicoptères permet d'avancer au moins quatre facteurs expliquant l'augmentation des risques de mauvaises évaluations technologiques ces dernières années quand cinq autres les tempèrent :

- *facteur aggravant 1 : Les paramètres technologiques sont plus difficiles à appréhender*

La réalisation d'un hélicoptère fait appel à des nombreuses technologies. Si les pionniers pouvaient concevoir entièrement leur appareil, personne ne peut aujourd'hui maîtriser tous les domaines d'un hélicoptère. A leur époque, les technologies étaient suffisamment peu élaborées pour leur permettre de les connaître sinon les maîtriser. Ils pouvaient ainsi estimer eux-mêmes les temps de développement, et construire leur projet en fonction. Actuellement, les décideurs ne peuvent plus être des « hommes du métier » car ils ne peuvent plus être de « tous les métiers ». Les risques n'en sont que plus difficiles à hiérarchiser.

- *facteur aggravant 2 : Les études expérimentales ont été limitées.*

Quand les pionniers pouvaient procéder par itération, en testant de nombreux prototypes jusqu'à converger vers une solution satisfaisante, les chefs de programmes ne peuvent plus procéder par étape pour réduire les facteurs de risques. Le coût trop onéreux de technologies devenues trop spécifiques ne le permet plus. Sikorsky affirmait « Don't trust any analysis unless it's accompanied by a simple physical explanation and supported by test data preferably from more than one source, with different test rigs any sizes ». Mais aujourd'hui, les programmes sont organisés en limitant les itérations expérimentales et les technologies doivent être mises au point pratiquement au premier essai et ce n'est pas possible.

- *facteur aggravant 3 : Les impératifs de rentabilité prime sur la faisabilité technique*

Les indicateurs traduisant l'avancée des travaux sont plus destinés à rassurer les investisseurs, qu'à valider la démarche technique. Ils ne sont pas toujours assez pertinents pour rendre compte de la réalité du terrain, et les signes anticipateurs de dérives sont voilés. Les concepteurs sont de plus en plus contraints à rendre compte de leurs horaires et leurs frais, mais l'originalité ou la créativité de leur travail n'est pas systématiquement évaluée. Une étude conduite en 2009 au sein d'Eurocopter révèle une gêne des concepteurs qui pensent que la qualité de leur travail n'est pas assez reconnue. [GAL 10]

- *facteur aggravant 4 : Les stratégies manquent de visibilité*

Trop complexe, les programmes mobilisent de nombreux acteurs, dont les intérêts ne sont pas forcément convergents et différentes perceptions des objectifs stratégiques co-existent. Par exemple, l'objectif de réduction de coût guidant la conception d'une pièce peut être contradictoire avec les logiques de sélection de fournisseurs aux enjeux plus globaux. Selon leurs initiateurs, des projets redondants et contradictoires sont ainsi parfois conduits, quand un seul ne peut aboutir au vue de la taille du marché. Le manque de logique dans la poursuite des actions désorganisent les projets, aussi méthodiquement soient-ils chacun isolément conduits.

- *facteur tempérant 1: Les connaissances théoriques sont plus développées*

Les grandes pistes d'innovation sont balisées par de nombreux résultats scientifiques. Les développements sont désormais plus basés sur l'ingénierie que sur la recherche. Les chances d'aboutir n'en sont que plus grandes. De nombreux laboratoires académiques à la pointe de la recherche accompagnent les industriels pour les aider à lever des incertitudes technologiques.

- *facteur tempérant 2: Les instruments de simulation sont plus développés*

Si les recherches expérimentales sont plus coûteuses, elles peuvent également être restreintes à des validations très ciblées. Des moyens de simulation permettant de les éviter (logiciels de simulation informatiques, programmes de calcul). Lorsqu'elles sont tout de même nécessaires, les outils de mesure sont bien plus performants et les causes des phénomènes n'en sont que plus sûrement trouvées. Des possibilités de prototypages rapides ont été développées pour maîtriser les délais et réduire les coûts des expériences.

- *facteur tempérant 3: Les communications sont aisées*

Les communications n'ont jamais été aussi faciles qu'à l'époque actuelle. Les nouvelles technologies informatiques ont révolutionné les sociétés. L'accès rapide aux informations de toutes natures (données scientifiques, contacts, informations événementielles...) simplifie les conceptions. Faire une étude des brevets de la concurrence sans base de données semble désormais impossible. Les distances géographiques entre partenaires peuvent être abolies, et les échanges d'autant facilités par les nouveaux moyens informatiques et les délais de conception raccourcis d'autant.

- *facteur tempérant 4: Les méthodes de gestion des risques ont été affinées*

La littérature regorge de méthodes de gestion permettant de repérer les risques (norme ISO27005). Les industriels du secteur aéronautique les ont déjà adaptées à leur activité pour

améliorer leur processus de conduite de projet (pour Eurocopter : procédure EP 01-11 « processus de gestion des risques »). La démarche traditionnelle de ces méthodes consiste à lister les causes d'échecs possibles et envisager les actions conséquentes pour limiter leur avènement ou leur effet sur le projet. Nécessaires mais non suffisantes pour présager de l'avenir elles ne sont jamais parfaites mais sont constamment améliorées.

- *facteur tempérant 5: Les méthodes d'évaluation des technologies ont été développées*

La plus célèbre d'entre elle, la Technology Readiness Level (TRL), a été développée par la NASA dans les années 80. Cette méthode permet aux différents acteurs des grands programmes aéronautiques de situer immédiatement l'avancée des travaux de leurs collègues, en différenciant le contexte dans lequel ils opèrent (laboratoire, prototype d'essai, qualification...). Les discussions sont conduites à partir d'une base commune, l'ampleur des tâches restant à accomplir est plus aisée à appréhender. Cette méthode est principalement destinée à accompagner les projets de recherche vers les projets de développements (au de là de TRL6). Elle a été adoptée par Eurocopter en 2010 pour permettre au département d'afficher par un indicateur simple leur contribution (nombre de degrés franchis). Elle a en effet pour mérite d'objectiver une situation, même si elle ne traduit pas la qualité et la pertinence du travail directement effectué.

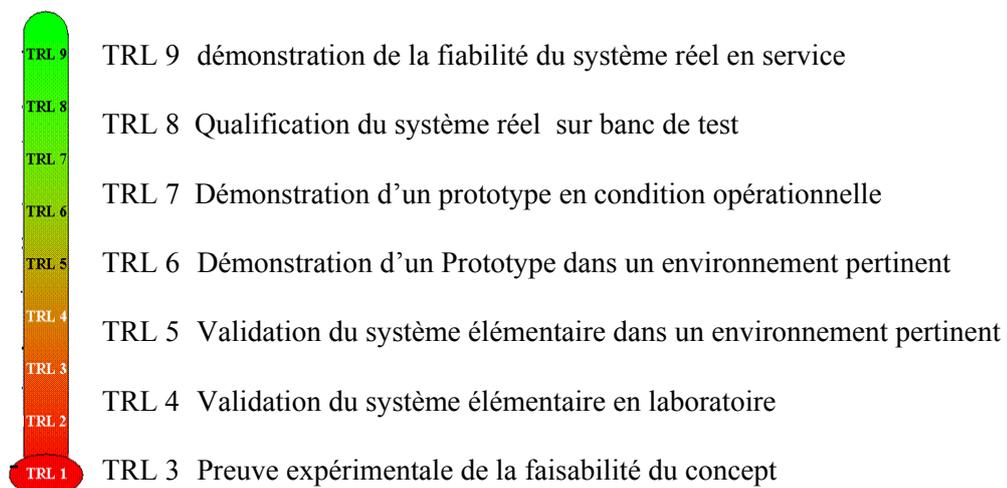


Figure 63 : Echelle de maturité technologique TRL

Ainsi, contrairement à une idée courante, cette thèse ne pense pas que les industriels sous évaluent les risques technologiques. Si les technologies se sont effectivement complexifiées ces dernières années, des outils limitant les risques ont été développés parallèlement. Les décideurs aéronautiques n'étant pas réputés pour leur impulsivité ou leur fantaisie, il est

raisonnable de penser qu'ils les maîtrisent. Pourtant certains programmes ont effectivement échoués, n'ayant pas réussi à porter à maturité les produits à développer.

Concorde ou Apollo étaient des défis technologiques tout aussi ambitieux, sinon plus, que les programmes actuels. Mais au sortir de la seconde guerre mondiale, et jusque dans les années 80, les grands programmes aéronautiques répondaient à des volontés des pouvoirs politiques. Les démonstrations de capacités technologiques étaient recherchées par les dirigeants qui orientaient en ce sens les efforts de leurs industriels. Mais depuis, les problématiques étatiques ont évoluées. Il ne s'agit plus pour les gouvernements d'afficher la reconstruction industrielle ou la supériorité par rapport à un adversaire, mais de démontrer la pérennité de son économie et sa croissance. Les notations des agences boursières l'emportent désormais sur les parades militaires. Les ambitions du secteur aéronautique sont plus pragmatiques, l'économie primant sur l'esprit de conquête. Les défis technologiques sont couplés à des défis d'autre nature (industriels, financiers...). Le programme de rotodyne Fairey a été contrarié par les fusions imposées à ses partenaires. Le programme comanche a échoué car ses objectifs initiaux ont changé en cours de développement. Le V22 a connu une déroute budgétaire car le passage des recherches théoriques à l'application industrielle a été précipité par des opportunités commerciales du au renouvellement des flottes. Dans tous les cas, les objectifs technologiques des programmes ont été fixés en fonction des contraintes et non l'inverse.

Cette thèse soutient que les ambitions technologies aboutissent plus difficilement car elles ne sont plus au centre des préoccupations des concepteurs. Les programmes dérivent non parce que les innovateurs n'ont pas évalué l'ampleur de leur tâche, mais parce qu'ils en ont été détournés.

4.2.2 Complexité des programmes

« Complexe » signifie formé de plusieurs éléments, dont la multitude rend leur organisation globale difficile à comprendre [HAC 10]. Les projets de nouveaux hélicoptères sont complexes dans le sens où l'appareil étant un assemblage de technologies très diverses, sa conception requiert des participants aux métiers et ambitions variés, dont la multitude pénalise les projets en diluant les responsabilités de chacun. Les interfaces entre les acteurs sont d'autant plus délicates à gérer qu'ils sont nombreux.

Les projets aéronautiques ont toujours été complexes, dès l'époque des pionniers révolue. La complexité a ainsi été une préoccupation constante dans ce secteur d'activités. Cependant les problématiques de faisabilité technologique étaient telles que la complexité semblait de second ordre. Les programmes aéronautiques Apollo ou Concorde étaient eux aussi complexes. L'évolution des moyens de communication pour vérifier les données échangées aux interfaces entre acteur auraient du simplifier la tâche des concepteurs. Mais aujourd'hui la complexité est citée en tant que facteur de dérive et d'échecs des programmes et elle est au cœur des préoccupations des concepteurs. Pendant que les moyens de communication facilitaient les échanges,

- *le nombre d'acteurs intervenant dans les projets s'est accru*, et chaque technologie exige le recours à des spécialistes. Eurocopter référence ainsi quelques milliers de fournisseurs et les programmes impliquent des milliers d'acteurs (plus de 1200 pour l'EC175)
- *les problématiques industrielles sont devenues mondiales*, les partenaires étant répartis sur plusieurs continents. Les sources de perturbations des projets ont de fait été multipliées et des risques nouveaux ont émergés (incompréhensions culturelles, conflit politiques...)
- *les pressions financières se sont accrues avec le développement boursier*. Les impératifs de rentabilité de chacun des partenaires altèrent la recherche de compromis lors d'inévitables réajustements des coûts et délais.
- *les mentalités ont évolué*. La circulation mondiale des produits est banale et les générations actuelles n'ont pas la même conscience de la difficulté d'harmoniser les actions de chacun. Par exemple, la différence de longueur des câbles français et allemands à l'origine des retards de l'airbus A380 est due à une incompatibilité entre deux logiciels que personne n'a semble-t-il vérifiée tant elle paraissait évidente.

Conscients des problèmes de complexité, même s'ils leurs conséquences apparaissaient moins, les industriels ont développés des méthodes pour l'appréhender au mieux. Ils disposent

aujourd'hui d'un vaste champ théorique pour la gérer. Dans les années 60-70, les démarches systémiques voulaient permettre d'appréhender toutes les variables afin de prendre les décisions optimales pour le gérer. L'utopie de modélisations planificatrices a été abandonnée dans les années 80, au profit de nouvelles approches, centrées l'une sur l'optimisation des résultats et l'autre sur les facteurs influençant les prises de décisions.

La première approche, dite « par contenus », vise à déterminer les conditions dans lesquelles les choix industriels (diversification, l'internationalisation, l'externalisation...) offrent à l'entreprise les meilleurs résultats. Basée sur des travaux économiques [POR 82] et en particulier les théories des ressources, elle quantifie les diverses variables. Elle donne ainsi la sensation d'objectiver les décisions mais s'avère perfide quand la réalité des chiffres masque une mauvaise définition des échelles selon lesquelles ils sont attribués.

La seconde approche, dite « par processus », privilégie au contraire les paramètres qualitatifs et vise à maîtriser les situations en comprenant les mécanismes psychologiques ou sociologiques qui l'induisent. Elle examine par exemple l'impact des différences culturelles pour assurer la cohérence des comportements individuels à l'intérieur d'un projet [CHR 08].

Ces approches ne sont pas contraires mais complémentaires. Elles n'ont pas pour vocation de prédire le destin des projets, mais de préparer les décideurs à réagir aux aléas qu'ils rencontrent, en déterminant leurs marges de manœuvres et leurs possibilités d'actions.

L'industrie possède ainsi de nombreux outils pour gérer la complexité. Cette thèse retient de la littérature l'idée qu'il est préférable de chercher à diminuer les facteurs de complexité, plutôt que de gérer leurs effets [EIS 01]. La complexité pénalise en effet les projets en nuisant à leur cohérence. Elle dilue les objectifs initiaux dans une masse d'informations, et cette perte de référence induit une dispersion des actions.

Cette thèse remarque en conséquence les travaux de K. Eisenhardt. Cette américaine, professeur de stratégie et Organisation à l'université de Stanford, propose que les décideurs se dotent d'un faible nombre de règles simples pour structurer les décisions tout en autorisant les acteurs à conserver leur capacité d'action. Elles aident en fait à conserver une vision globale du projet pour mieux coordonner les actions individuelles.

Se doter d'un petit jeu de règle	Pour répondre aux préoccupations
Décision	Quelle est l'objectif du processus ? Pourquoi est-il unique ?
Sélection	Quelles opportunités doivent être saisies ?
Hiérarchisation	Quelle opportunité doit être favorisée ? Quelles sont les priorités ?
Temporisation	Comment se synchroniser avec le reste de l'entreprise ? Quelles activités ont un rythme différent et comment gérer cette différence ?
Abandon	A quel moment une activité doit-elle être interrompue ?

Figure 64 : Reformulation des règles de K. Eisenhardt

Cette structure décisionnelle peut être déclinée à toutes les équipes d'un programme. Chaque équipe étant formée en vue d'un objectif précis, tous les acteurs conservent chacun à leur niveau le sens qui doit animer leurs actions. La coordination à l'intérieur d'une équipe ou entre équipes, est assurée par l'unité de compréhension du sens des actions. Les qualités des échanges est améliorée et les informations pertinentes plus facilement repérées. Ces règles doivent rester simples, c'est-à-dire limitées en nombre pour être assimilables et centrée autour des problématiques identitaires donnant sens à l'action. Ainsi les initiatives individuelles ne sont pas contrariées et les contraintes excessives de gestion ne pénalisent pas leurs efficacités.

Ainsi cette thèse admet que la complexité est une problématique majeure à appréhender lors du lancement d'un programme. Cependant, elle ne lui accorde pas un rôle déterminant dans les dérives des programmes, puisqu'elle peut être réduite. A travers l'énoncé de règles simples, une approche du programme privilégiant la compréhension de sa structure et des objectifs à atteindre par chaque unité, permet à chacun de comprendre le sens de ses actions. Les actions, alors mieux alignées selon un plan commun, aboutissent plus aisément.

4.2.3 Interprétation

Cette thèse soutient que les sous estimations des maturités technologiques et la complexité de gestion des programmes sont à l'origine de dérives mais ne constituent pas des causes inéluctables d'échecs ou d'abandon. Les entreprises ont à leur disposition des outils pertinents pour les gérer et des personnels compétents pour les utiliser.

Contrairement aux idées courantes, le secteur hélicoptériste n'est pas plus exposé que d'autres aux risques qu'elles génèrent : les grands programmes spatiaux ou robotiques n'ont par exemple rien à leur envier. Le secteur hélicoptériste peut même être considéré comme privilégié en ce sens que la compétition n'est pas aussi féroce que la hauteur des investissements financiers peut le laisser supposer. Les conditions de concurrence sont relativement stables de par l'évolution lente de la demande et le peu d'apparition de nouveaux rivaux ou produits concurrents comparativement à d'autres industries (textiles...). La concurrence est plus loyale, de par la nécessité d'entretien de relations pérennes avec des partenaires dont le nombre est limité. Les stratégies à long terme sont envisageables pour optimiser leurs efforts, quand certains secteurs sont contraints par des problématiques de flux tendus de production (automobiles...). Ainsi, il dépend des hélicoptéristes eux-mêmes d'éviter les pièges de la complexité et de gestion des développements techniques.

Cette thèse s'accorde avec la majorité des auteurs d'analyses publiées sur les programmes, pour identifier la faiblesse de la gouvernance comme origine des dérives. Elle explique les fréquents dépassements budgétaires et temporels par la dispersion des actions. Elle relève le rôle fondamental des acteurs dans les dysfonctionnements organisationnels, dont les ambitions personnelles et conflits d'intérêts peuvent perturber le déroulement des programmes.

Pour maintenir une cohérence à travers les nombreuses entités d'un programme, cette thèse propose de veiller à

- Revaloriser l'approche technique des programmes
- Tenir visible et ferme les objectifs initiaux
- Simplifier les échanges

Revaloriser l'approche technique des programmes signifie adopter une démarche technique pragmatique, validée par des résultats expérimentaux, lors de la construction du programme.

Elle demande d'accepter implicitement l'échec de propositions en cours de développements, pour mieux sécuriser les avancées, étape par étape.

Accepter l'échec ne signifie pas perdre de vue les contraintes économiques pour le bien de la science mais accorder une marge de manœuvre aux concepteurs pour qu'ils puissent saisir au mieux les opportunités ou contenir les débordements causés par des événements imprévisibles en cours de programme. Développer une culture expérimentale signifie accroître l'influence de l'argumentaire technique par rapport aux impératifs financiers. Si le mieux et l'ennemi du bien, « faire bien du premier coup » en rigidifiant les procédures de contrôle peut être dommageable à l'innovation à deux titres. A court terme, les concepteurs sont déresponsabilisés car les jalons des programmes ne sont pas fixés en fonction de leur travail mais d'ambitions gestionnaires. A moyen terme, les décideurs préfèrent s'autocensurer et limiter les innovations pour éviter les critiques négatives en cas d'échec. Par contre, offrir l'occasion aux concepteurs de démontrer leurs compétences en leur accordant la confiance de l'organisation des programmes force leur engagement et garantit en conséquence leurs performances.

Renforcer la visibilité des objectifs initiaux signifie renforcer la cohérence des actions individuelles par rapport à l'orientation décidée en début de programme. Il s'agit non seulement d'aligner les intentions de chacun des acteurs, mais également de mettre en place des repères pour guider leur évolution. C'est la compréhension du sens de leurs actes qui permet aux acteurs d'assumer leurs responsabilités.

Pour rester cohérente entre les différentes unités d'un programme, la ligne stratégique conductrice du projet doit précéder la construction du programme. C'est aux équipes qu'il revient de décliner un choix affirmé de la direction, et non à la direction d'agrèger les meilleures propositions qui lui sont remontées. Une équipe ne peut innover au détriment des coûts, quand une autre recompose ses partenariats dans l'espoir de les réduire par exemple. Les contrats jouent un rôle clé dans la préservation des relations entre partenaires. Des contrats volumineux rédigés dans vocabulaire juridique abscond ne sont pas efficaces car ils masquent la motivation qui doit animer les contractants. En revanche quand le sens des engagements et le cadre des inévitables renégociations est prévu, ils sont garants de leur bonne entente. La phase de préparation d'un programme au cours de laquelle sont déterminés les objectifs et le montage partenarial est essentielle. Pour que le processus décisionnel ne soit pas perturbé en cours de programme, il convient de prendre en compte les motivations des intervenants extérieurs au programme, internes à l'entreprise ou pas, avant de le lancer. Si les

motivations des clients conditionnent l'objectif des programmes, la direction d'un programme se doit de la prendre en compte initialement pour éviter de le voir bousculer par la suite. Le NH90 d'Eurocopter a été retardé de plus de quinze ans pour gérer les 25 versions personnalisées de ses clients (augmentation de la taille de la cabine pour les NH90 suédois...) leurs demandes étant centrées sur leurs intérêts et non sur les réalités industrielles.

Simplifier les échanges signifie permettre à chacun de savoir dégager dans son activité les informations essentielles à communiquer aux différents acteurs du programme. Si la vision globale doit être réservée aux décideurs, essentiellement pour des raisons de confidentialité stratégiques, chacune doit avoir conscience de son rôle pour être responsable. C'est la compréhension de sa mission qui permet à chacun de connaître ses responsabilités. L'affichage et la stabilité de l'organigramme abonde en ce sens, comme l'homogénéité et la simplicité des formats d'échange et des protocoles de communications. La taille des équipes, à tous les niveaux, est essentielle car la facilité d'échange et la capacité de contact direct entre les acteurs est un facteur clé de succès. La nécessité de convivialité des outils de gestion découle de cette prise en compte. La réussite d'un programme se prépare en avance de son lancement, en donnant du sens et en allégeant sa structure hiérarchique et ses outils et protocole de gestion.

Cette thèse retient de l'étude des grands programmes que leur succès tient essentiellement à leur préparation. Les approches les mieux appropriées sont basées sur la confiance et l'intelligence des individus à réagir promptement et efficacement. C'est la clarté et la simplicité des règles de conduite dans le programme qui garantissent une unité d'action.

Conclusion

Les programmes d'innovation semblent contraints par un triple paradoxe : Ils visent à relever des défis technologiques sans accorder le droit à l'erreur, ils visent à satisfaire les besoins immédiats des clients tout en rationalisant la production industrielle sur le long terme, ils nécessitent l'intervention d'acteurs extérieurs à l'entreprise sans autoriser le partage de leur direction. Indépendamment les uns des autres tous ces objectifs sont envisageables, c'est l'exigence de simultanéité qui est pénalisante en générant une confusion des objectifs. Ce ne sont ni des prétentions technologiques excessives des constructeurs ni des lacunes dans la gestion des projets qui expliquent leurs fréquents dépassements budgétaires et temporels, mais des approches inappropriées des programmes.

A la lumière du contexte industriel et de ses caractéristiques présentées dans les chapitres précédents, plusieurs origines des perturbations entraînant l'échec commercial des programmes apparaissent :

- *La pression financière exercée sur les choix technologiques* : la focalisation sur les objectifs de rentabilité économique perturbe les programmes plus qu'elle ne limite leurs dépenses car elle induit des pratiques contre-productives. La recherche avance naturellement par retour d'expérience mais les validations expérimentales sont souvent contournées car jugées trop onéreuses.
- *La pression commerciale des clients* : la taille restreinte du marché et les coûts élevés des produits renforcent leur influence, jusqu'à les autoriser à modifier les hypothèses des programmes. Leur manque de connaissance des contraintes techniques perturbent les programmes en induisant des objectifs de performance non crédibles industriellement.
- *La pression industrielle des partenaires* : étatiques, ils sont à la fois investisseurs et clients et ont le pouvoir de fausser la compétition. Industriels, leurs intérêts sont liés à leur propre trajectoire de développement. Les programmes ne sont plus une finalité mais un moyen d'assurer des intérêts. Leur divergence perturbe les programmes en induisant des choix contraires à la pérennité de l'entreprise.

Plus généralement, l'origine des perturbations est la confusion des rôles entre acteurs d'un programme. Les concepteurs techniques sont organisés en fonction d'objectifs économiques, quand les clients fixent les objectifs de performance et les partenaires extérieurs s'invitent dans la gestion globale. En conséquence, une construction appropriée du programme consiste

à replacer chacun dans son rôle pour contenir les pressions, et à mettre en place un système de gestion, du contrôle à la communication, encourageant chacun à y rester

- - *par une organisation transparente.* La connaissance des objectifs et leur distributeur distinctement et nommément les tâches. La préparation des interfaces de communication est essentielle pour éviter les dissipations d'informations et leur parasitage. Elle demande d'intégrer les responsables de la production et de l'infrastructure industrielle pour ne pas être remise en question en cours de programme. la démarche n'en est que plus efficace et rationnelle industriellement.
- - *par une valorisation des acteurs individuels.* La désignation d'acteurs est gage de responsabilisation et la reconnaissance gage de motivation. Déléguer la gestion des propositions techniques aux hommes de métier les valorise, évite les phénomènes d'autocensures et autorise des initiatives opportunistes bénéfiques au programme tout en allégeant ses procédures administratives. Les solutions n'en sont que meilleures commercialement. La délégation nécessite d'accepter les erreurs en phase de recherche et de préciser les marges de tolérance accordées pour être pragmatique et rester une démarche rentable sur le terme du programme.
- - *par un encadrement juridique des acteurs collectifs.* L'alignement des ambitions des partenaires sur les objectifs du programme nécessite des précautions juridiques pour délimiter par contrat les périmètres d'actions, de décisions et surtout les conditions de leurs renégociations. La hauteur des sommes à investir dans les programmes hélicoptéristes aiguisant les appétits financiers, les engagements ne peuvent être tenus conformes aux objectifs initiaux sans être explicites. La visibilité des responsabilités garantit leur respect.

Pour favoriser l'aboutissement des programmes, il apparaît approprié de les conduire dans des conditions de transparence et de simplicité. La transparence s'oppose à la confusion. Elle limite la duplicité et la tentation de détournement du projet collectif au profit d'ambitions personnelle pour rendre les échanges plus constructifs. La simplicité s'oppose à l'incompréhension. Elle dégager les problématiques essentielles pour réduire la complexité des travaux et les sources potentielles d'erreurs. Pour éviter les dérives des programmes, une proposition est ainsi de créer des conditions de transparence et de simplicité, c'est-à-dire d'investir dans la culture de l'entreprise. Les chapitres suivants examineront la conduite quotidienne des projets pour dégager des propositions. L'aboutissement des programmes reste néanmoins assujéti à la question essentielle de la stratégie. Un hélicoptériste peut développer

une culture propice à l'innovation et la réactivité, se doter des moyens méthodologiques pour conduire aux mieux ses programmes, construire un réseau partenarial efficace, mais ces efforts resteront vains s'il a mal évalué son positionnement et l'évolution des marchés. Aucune prouesse technique ne garantit le succès si elle ne satisfait pas les attentes de la clientèle.

Actuellement, Eurocopter développe une nouvelle formule d'hélicoptère rapide et essaie de placer son programme dans des conditions propices à son aboutissement en :

- limitant le nombre d'intervenants pour éviter les divergences internes et pouvoir mettre en place une organisation basée sur le contact et réduire les sources d'incompréhension.
- construisant une démarche de développement pragmatique selon un plan de validation expérimentale des résultats pour lever les uns après les autres les risques techniques.
- bâtissant une logique industrielle optimisant l'insertion de l'appareil dans la chaîne de production

La réussite du programme ne semble plus tenir qu'au respect par chacun de ses engagements. Il reste cependant une inconnue : le positionnement stratégique. Cette thèse ne pense pas que l'analyse actuelle soit judicieuse. Le nouvel appareil vise à séduire le marché off shore. Les surcoûts de consommation et d'entretien sont justifiés par le temps et le nombre de rotations gagné pour relier les plateformes les plus éloignées. La concurrence prochaine des drones, pouvant assurer les missions d'approvisionnement des plateformes, semble oubliée. L'intérêt commercial des drones réside dans leur faible coût d'exploitation et leur temps d'opérabilité étendu, puisqu'ils sont affranchis des contraintes horaires humaines. Un drone construit à partir d'une formule classique moins rapide devra certes faire plus de rotations, cependant le coût du service rendu au final restera très inférieur à celui du nouvel hélicoptère rapide. L'intérêt financier primant, la séduction du marché off shore semble compromise. Cela ne signifie pas pour autant le manque d'intérêt de la nouvelle formule développée. Mais elle semble plus adaptée à des missions d'urgence ou de transport de VIP. Le dernier chapitre expose plus en détail un nouveau projet.

5. Les projets d'innovations

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de comprendre l'origine des dérives budgétaires et temporelles des projets, pour proposer des solutions palliatives en vue de les réduire, et de limiter de fait les dérives des programmes.

Sont appelés « projets » des études et réalisations en vue de développer des sous-ensembles d'un hélicoptère, « Projet BTP » par exemple ou de nouveau concept tel le « projet X3 » et a contrario sont désignés par « programmes » l'étude en vue de l'industrialisation d'un appareil entier, par exemple le « programme Tigre ». Hormis l'évidente réduction du volume d'investissements et de complexité, la conduite des projets se différencie fondamentalement de celles des programmes en ce qu'ils n'ont pas de marché direct mais que leurs clients sont internes : ce sont les programmes qui commercialisent le résultat des projets au travers de la vente d'hélicoptères puis de pièces de rechange.

Les opportunités de lancement sont raisonnées en termes de rapports entre investissements et les gains potentiels. N'ayant pas de marché propre, les intérêts économiques des projets sont évalués par comparaison avec ceux de produits de substitution possibles. Par ailleurs, à la perspective de gain et d'atteinte de performance, un troisième critère intervient pour juger de l'intérêt d'un projet : la masse du composant à développer. En effet, déterminante pour les performances globales des hélicoptères, la masse est un enjeu sensible sur toutes les pièces des machines. Les choix stratégiques des programmes clients et les objectifs visés par les projets se doivent d'être cohérents. Dans un but d'efficacité, il est en effet souhaitable de traduire pour chaque pièce, l'intention sur laquelle repose la décision de développer l'hélicoptère. Si la raison d'être d'un nouvel hélicoptère est la minimisation du coût d'achat, cet objectif doit être perceptible pour chaque composant. A la différence des programmes, le succès et l'échec des projets sont compris comme la tenue ou dérive des jalons initiaux du projet (durée et coût du projet, objectifs techniques ou financiers visés, masse du composant) et non comme succès ou échec commerciaux.

Ce chapitre est organisé en trois parties. La première qui constitue un retour d'expérience présente plusieurs projets suivis par le département Innovation pour servir de support aux réflexions sur la conduite des projets. La seconde partie présente les différents repères utilisés pour gérer les projets d'innovation afin d'analyser les phénomènes récurrents constatés. La dernière partie propose une méthode pour conduire les projets d'innovation dans le contexte de l'industrie hélicoptériste.

Ce retour d'expérience va souligner l'importance de la dimension humaine des projets, autant par l'importance des acquis d'expérience des acteurs que par l'influence de leur personnalité des acteurs sur les trajectoires des projets qu'ils conduisent. La démarche proposée délaisse les méthodes de planification et cherche à construire une approche pratique. Elle valorise la cohérence entre la stratégie de l'entreprise et les objectifs des projets.

5.1 Les projets d'innovation

La diversité des situations est par nature impossible à décrire : chaque projet se déroule dans un ensemble de circonstances et avec des moyens qui lui sont propres. S'il n'existe pas de projet type, il existe de nombreuses manières de distinguer les projets entre eux : selon leur budget, la nature des ressources mobilisées, l'importance des caps de maturité technologiques à franchir par exemple. Les projets sont le plus souvent distingués en deux groupes dans la littérature: ceux qui visent à améliorer un produit existant et ceux qui visent à créer une solution radicalement différente. Les démarches diffèrent en termes d'objectifs, de recherches industrielles ou technologiques. Les premiers sont essentiellement motivés par des retours d'informations du service de support à la clientèle et visent des réductions de coûts quelles qu'en soient le type. Ils se réfèrent à l'analyse d'un contexte pour développer le nouveau composant : recherche des parties les plus rentables, des fonctions les mieux appropriées, optimisation de l'outil de production par exemple. Les seconds sont essentiellement motivés par des études prospectives et visent à rendre obsolètes les produits concurrents, c'est grâce à des outils de créativité qu'ils espèrent transformer des résultats issus de la recherche en produit commerciaux.

A l'origine du département, les projets ont été différenciés selon ces types d'innovation, rupture technologique ou amélioration des produits existant. Cette répartition s'est révélée insuffisante pour rendre compte de l'activité. Elle a été complétée par une troisième catégorie de projets axés autour de la réduction de coûts, regroupant les projets dont l'existence est

justifiée par la seule réduction de coûts. Ils se distinguent des deux autres en ce que les nouveaux produits peuvent ne présenter aucune innovation technologique. Par ailleurs la réduction de coûts ne signifie ni que les autres projets ne sont pas regardant quant à l'atteinte d'objectifs économiques, ni que la recherche de bas coûts doit être atteinte au détriment de la performance ou de la qualité.

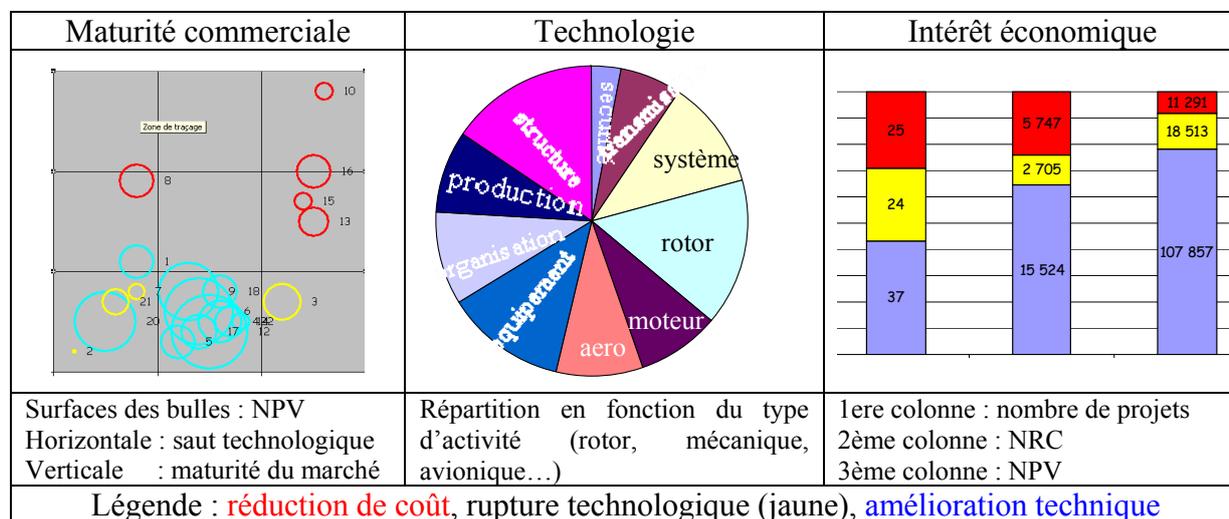


Figure 65 : Critères de différenciation des projets

Cette répartition s'est révélée utile pour établir un constat d'activité du département mais vide de sens pratique. Si la nature des risques et le degré d'imprévisibilité d'événements inopportuns diffèrent effectivement entre les projets de rupture, d'amélioration de l'existant ou de réduction de coût, comme les analyses préalables à leur lancement, les actions conduites pendant leur déroulement sont par contre comparables. Tous peuvent exiger une recherche de nouveaux partenaires, des campagnes de simulation et d'essais, l'acquisition de connaissances ou de savoir-faire très spécifiques par exemple. La différenciation théorique en fonction de la nature de l'innovation à réaliser ne traduit pas le type de compétences à particulièrement mettre en œuvre pour optimiser les chances de succès d'un projet. Elle est pertinente pour saisir comment la structure de l'entreprise incite à un type de projet, mais pas pour comprendre comment un projet donné peut être facilité. Pour visualiser les actions fondamentales à entreprendre, il est préférable de différencier les projets en termes de finalité. En effet, à différentes ambitions justifiant l'existence d'un projet correspondent différentes logiques industrielles. Pour l'hélicoptériste les projets visent essentiellement à :

- *Construire un partenariat plus avantageux* : éviter ou se désengager d'une situation monopolistique est la problématique centrale. L'évaluation d'industriels et la gestion de contrats sont les deux compétences sur lesquelles repose la réussite de ce type de projet.

- *Réduire les coûts* : l'identification et la suppression de tâches non spécifiques à l'industrie et n'apportant aucune valeur ajoutée au produit final sont principalement visées. Les outils de production et la durée des cycles de fabrication sont repensés.
- *Améliorer les performances* : la maîtrise technologique est leur enjeu. La réussite de ces projets impose de mettre en œuvre des logiques d'essais appropriés et de gérer les risques de complexification. .

Ces ambitions ne s'excluent pas l'une de l'autre et dans la plupart des projets elles se superposent même. Cependant une est toujours dominante. La nouvelle différenciation selon les finalités industrielles proposée dans le cadre de cette thèse prend sens, car au-delà de l'intérêt pratique, le classement reflète les problématiques spécifiques de l'industrie hélicoptériste, liées au faible volume de vente du marché et à sa production quasi-artisanale.

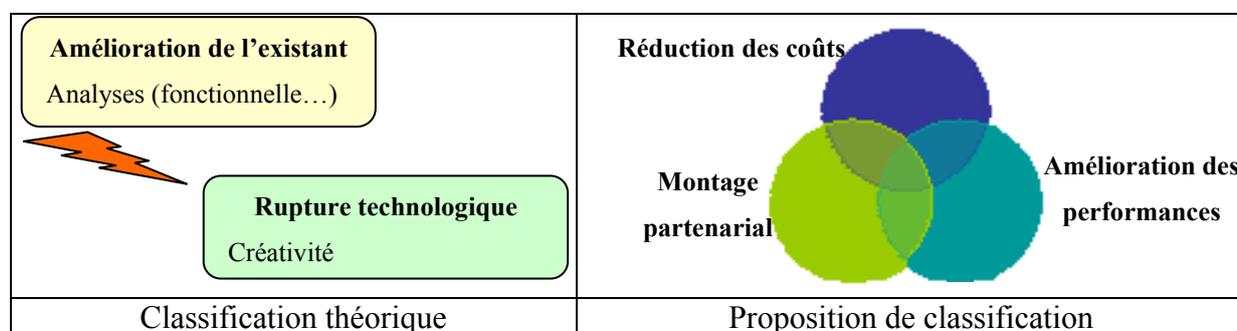


Figure 66 : Type de projets d'innovation

Les cinq projets ont été sélectionnés parmi l'ensemble des projets suivis par le département innovation ces dernières années car leur déroulement a été jugé suffisamment représentatif des difficultés rencontrées. Les projets de servocommande et de vérin série sont des exemples de projets de désengagement d'un monopole : ils ont été motivés par une volonté d'acquérir l'indépendance pour maîtriser des coûts et la continuité des approvisionnements. Les projets d'outil de réglage et de système de câblage visent à réduire les coûts et le détecteur d'incendie est un projet visant à améliorer les performances. Ces projets sont présentés ci après avec le plus d'objectivité possible, après avoir collecté des données des documents internes, procédé aux interviews d'acteurs y ayant participé et consulté des ouvrages spécialisés dans les domaines techniques [MAR 10].

5.1.1 Conception d'une servo - commande

Les servocommandes amplifient la puissance du mouvement qui leur est transmis grâce à leur hydraulique pour orienter le plateau cyclique et contrôler ainsi la trajectoire du vol.

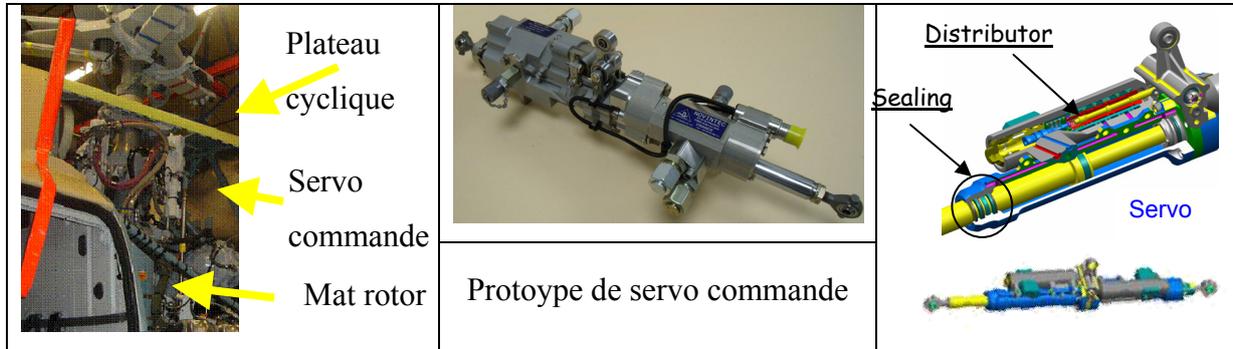


Figure 67 : Servocommande

En Janvier 2006, Eurocopter décide de rompre ses relations commerciales avec un de ses fournisseurs, la société américaine Goodrich qui le pénalise financièrement. Les prix et les délais d'approvisionnement ont augmenté immodérément : celui des servocommandes a connu près de 40% de hausse. La difficulté des négociations avec ce partenaire ont convaincu divers responsables d'Eurocopter de changer de stratégie. Dès lors, l'objectif est de le remplacer, mais en situation de quasi monopole sur ce produit, se désengager du partenariat s'annonce délicat. Le premier est technique car Eurocopter ne possède pas le savoir-faire, le second est commercial, lié aux garanties à obtenir pour sur les futures possibilités d'industrialisation, Goodrich surveillant certainement ses concurrents potentiels pour conserver sa situation. Il ne peut avoir d'appel d'offre traditionnel (émis par le service achat après qu'une spécification ait été rédigée pour décrire les fonctions devant être assurées). Il faut inventer une nouvelle démarche permettant de dissimuler les intentions industrielles.

En février 2006, le projet de conception d'une servocommande débute. Les coûts des composants sont identifiés : ils semblent disproportionnés d'un facteur 3. Une analyse révèle deux éléments à forte valeur ajoutée (le distributeur et le système d'étanchéité) tandis qu'une étude de la propriété intellectuelle identifie les brevets du fournisseur à contourner. Ils sont basés sur des technologies anciennes et des solutions techniques plus performantes semblent concevables. La détection du grippage peut par exemple être améliorée et un brevet est déposé par Eurocopter pour améliorer la fiabilité des servocommandes. L'objectif du nouveau projet sera ainsi double : il permettra de réduire les coûts tout en améliorant la performance des servocommandes. De plus Eurocopter devient propriétaire par ses brevets.

La faisabilité technique ayant été montrée, une étude évalue son intérêt économique. Une conception détaillée, orientée par la méthode de conception par coût objectif (design to cost) estime les futurs coûts récurrents. Une première application est envisageable sur 70 hélicoptères (par an): le projet industriel est amortissable en quatre ans grâce au demi million d'euros gagnés en coût récurrent (RC) et au million sur les coûts directs de maintenance (DMC). Les composants sont enfin répartis en deux lots. Le premier rassemble les éléments à forte valeur ajoutée qui seront développés par Eurocopter. Le second lot sans intérêt majeur pour l'hélicoptériste, sera confié à des sous-traitants. Les risques technologiques et industriels étant levés, le projet peut être lancé.

En avril 2006, Eurocopter sélectionne plusieurs partenaires potentiels avec lesquels il collabore sur des petits projets de courte durée, pour tester leurs compétences. Les responsables du projet s'orientent vers les pays « low cost » car ils espèrent bénéficier des tarifs horaires de main d'œuvre bas pour assurer l'objectif de prix. Une société polonaise est retenue car sa localisation géographique supprime les risques de fluctuations monétaires et son passé industriel rassure. Elle a déjà réalisé des servocommandes destinées aux hélicoptères russes dans le passé et les servocommandes n'ont pas connu d'évolutions majeures depuis. Un bureau d'étude commun est créé Eurocopter est responsable du design et le fournisseur responsable de la production. La promesse de gains élevés est tempérée par les difficultés d'échanges entre les équipes. Les valeurs culturelles diffèrent et le recours à des traducteurs les complique encore. Les comportements du personnel polonais sont peu compréhensibles par les personnels d'Eurocopter. En quelques semaines, les capacités avancées en phase de sélection sont incohérentes avec le vécu du terrain. Une analyse trop sommaire des risques a omis de préciser que le savoir était concentré chez un nombre limité de personnes proches de la retraite. Les coûts promis semblent effectivement réalisables, mais la pérennité de la production nettement moins. En Mars 2007, la société polonaise révèle quelques difficultés financières, tandis que des rumeurs de rachat commencent à transpercer. Lors du salon aéronautique du Bourget, Eurocopter découvre fortuitement que leur partenaire polonais est en négociation avec Goodrich ! Eurocopter est utilisé pour faire monter les enchères auprès des repreneurs potentiels. Cette révélation met évidemment un terme définitif au partenariat. Les gains en coûts de production dus aux délocalisations ne compensent pas les pertes dues aux problèmes de fiabilité, de communication et aux surcoûts des mesures d'urgence prises en cas de retard ou non livraison. Une approche par coûts globaux rendait les entreprises européennes classiques compétitives.

Les critères de sélection sont revus pour mettre l'accent sur la qualité du dialogue technique et sur la réactivité, même si la méthode initiale reste inchangée: les sociétés postulantes sont invitées à collaborer sur de petites études pour être évaluées en condition réelles. Une société se dégage en prenant l'initiative de corriger le design de l'étude proposée. Le directeur technique est connu et apprécié pour avoir travaillé sur d'autres projets. Française, la société Novintec est leader sur son marché de très haute technologie et affiche des intentions très claires. Toutes les garanties sont réunies pour assurer la viabilité de la production qu'envisage Eurocopter et le projet repart. En Octobre 2007, un bureau commun est créé et la logique industrielle de répartition définie. Parallèlement à la conception de la servocommande, Eurocopter développe un banc d'essai polyvalent pour la tester et limiter le recours à des intermédiaires. En moins de huit mois, la conception est validée dans ses grandes lignes: les spécifications sont respectées et le niveau de risque du projet est acceptable. En Octobre 2008, toutes les données sont précisées dans le moindre détail et tout risque technique levé. La conception du produit est figée et les phases de fabrication débutent. Les deux prototypes mis en chantier sont réalisés en Mai 2009. En Septembre les essais de performance débutent sur le banc. Les réponses en fréquence sont acceptables: la nouvelle servocommande est totalement interchangeable avec celles de Goodrich. Dès lors, il ne reste plus qu'à la certifier (approximativement un an de tests pour justifier la bonne tenue exigée par la réglementation). La production série doit débuter en 2011. La situation de monopole sera alors contournée. Les nouvelles servocommandes sont plus légères et leur prix a baissé de près de moitié.

Ce succès industriel, économique et technologique doit toutefois être nuancé. Goodrich reste un fournisseur en situation de monopole sur d'autres pièces (arbre de transmission par exemple). Le plan « Exit Goodrich » a été dédaigné par d'autres services et au final, Eurocopter risque de payer cher son manque de cohérence. Le fournisseur répercutera sans doute les marges perdues sur ses autres produits, et les assortira probablement de quelques mesures destinées à contrarier toutes nouvelles velléités d'indépendance.

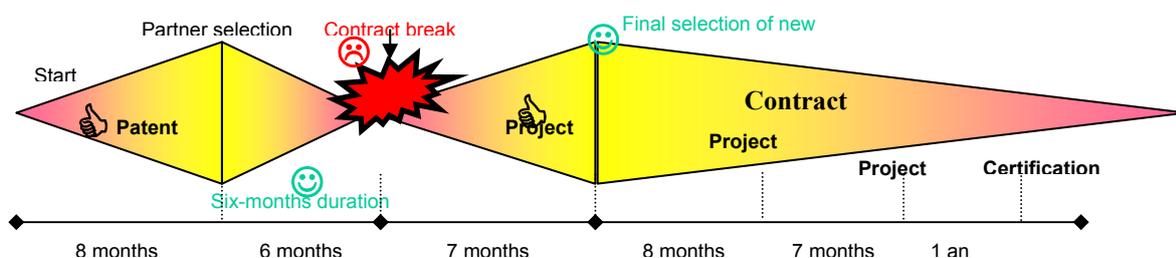


Figure 68 : Déroulement du projet "servo"

5.1.2 Conception d'un vérin série

En 2006, le département Innovation d'Eurocopter recherche les équipements dont les coûts peuvent être significativement réduits. Il identifie le vérin Sema (Smart Electro-Mechanical Actuator) fourni par la société française Sagem. Ce vérin, également appelé vérin série, est placé en série dans la chaîne des commandes de vol de tous les hélicoptères équipés d'un pilote automatique, pour être géré. Le vérin assure la stabilité des appareils. Les quatre axes (roulis, lacet, tangage, collectif) en sont chacun équipé. Le vérin est composé d'un moteur brushless entraînant une vis-écrou et de deux cartes électroniques. Les cartes électroniques, de puissance et de commande, gèrent les déplacements grâce aux informations de capteurs.

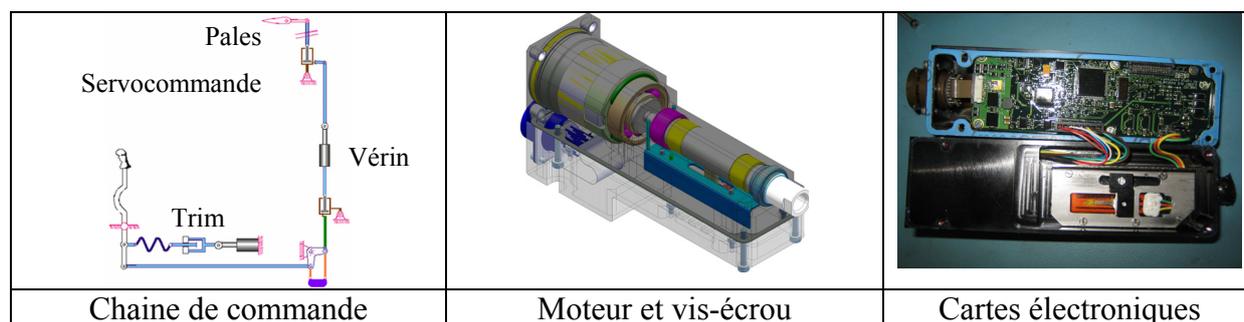


Figure 69 : Vérin série

Le coût du vérin semble surévalué par Eurocopter au vue des technologies mises en œuvre. Sagem est un partenaire de plus de 40 ans avec lequel Eurocopter a développé son premier pilote automatique. Les relations de confiance l'autorisent à se voir confier des développements sans appel d'offres concurrentes et être en situation de monopole historique accepté. La décision de concurrencer le vérin n'est pas anodine. Elle force les équipes avioniques à questionner leurs habitudes : avec le temps, les préoccupations de coûts ont été négligées. Le service achat est quant à lui très réticent. Il veut éviter de remettre en cause un contrat global de 70M€ annuel avec un fournisseur en monopole sur d'autres équipements (centrales inertielle par exemple). Il lance un appel d'offre rapide (Request For Information) qui montre que Sagem est certes un peu plus cher que ses concurrents mais que les écarts de prix restent corrects. Cependant, les sociétés interrogées ont toutes le même profil : de très grandes sociétés déjà connues en aéronautique (SKF, Thalès, Goodrich...). Deux perceptions s'opposent : celle des achats qui prime la gestion de l'obsolescence d'un équipement qui fonctionne bien et celle de l'innovation soucieuse de challenger le marché.

Pour étayer sa position, le département Innovation quantifie les gains espérés en lançant une étude d'analyse de la valeur détaillée. Une réduction du coût du vérin par trois s'avère envisageable. Sur l'ensemble des hélicoptères équipés chaque année de quatre vérins, les

économies envisagées dépassent les 3M€ par an. Par ailleurs, la sortie de monopole est accompagnée d'un gain de compétences permettant à Eurocopter de mieux spécifier ses exigences et surveiller les prix de ses partenaires à l'avenir.

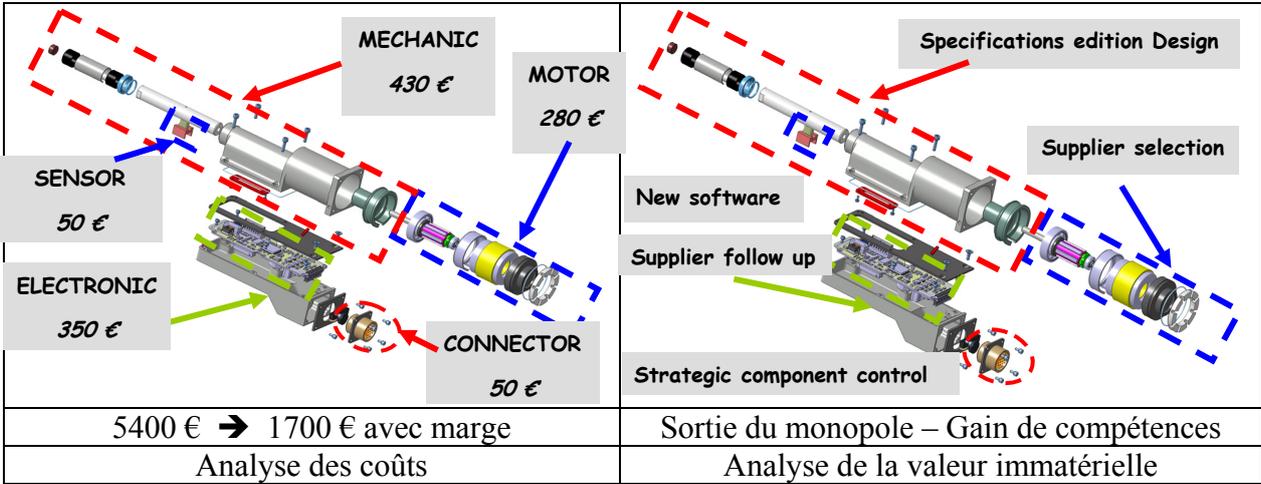


Figure 70 : Analyse de la valeur

En Mai 2006, le projet de conception débute. La réalisation d'un démonstrateur doit permettre de discuter des politiques d'achats sur la base d'éléments concrets. Une petite PME, Bodet Aéro est retenue pour son expertise mécanique et sa motivation. Elle recherche en effet à développer son activité dans le domaine aéronautique. Trop limitée pour assurer la gestion de la partie électronique, elle sous traite le développement des cartes à la société néerlandaise ACQ. Eurocopter garde l'initiative de conception des parties électroniques et mécaniques, à l'exception de la définition du moteur. Le projet a un enjeu technique corolaire à l'objectif initial de réduction de coût, une étude technique ayant mis en évidence des problèmes récurrents du vérin. En effet, sur l'EC155 le temps moyen entre deux pannes (MTBUR, Mean Time Before Unscheduled Removal) ne dépasse pas 300 heures. Des infiltrations d'eau altèrent le joint, qui n'assure plus la fonction de guidage de la vis correctement et des forces de frictions dues aux contacts entre la vis et le vérin sont source de grippages mécaniques. En août 2006, une première logique de l'électronique est établie et les architectures software et hardware sont détaillées. Une étude comparative de moteurs d'asservissement disponibles sur étagère est conduite pour choisir entre les technologies pas à pas (plus précises) et brushless. Ces derniers sont retenus car ils s'échauffent moins, sont moins encombrants à puissance égale et mieux adaptés à la mécanique vis-écrou en privilégiant la vitesse par rapport au couple. Trouver un moteur (avionable) est une réelle difficulté car le marché hélicoptéristes est trop petit pour que de lourds industriels s'engagent à en concevoir. Dans ces conditions, les hélicoptéristes sont contraint à s'appuyer sur des opportunités, souvent fournies par de petites entreprise cherchant un moyen de se développer. En janvier 2007, la réalisation d'un

premier démonstrateur débute. Quatre seront construits au cours du premier semestre, pour affiner, alléger et simplifier les formes au fur et à mesure de la validation des composants. Successivement, des paliers sont placés pour assurer le guidage, deux joints racleur et dynamique sont ensuite montés en série pour assurer la protection anti-sable et l'étanchéité de la tige, puis une carte unique remplace les trois assurant les mêmes fonctions de surveillance, asservissement et gestion de puissance. La réduction du nombre de composant contribue à améliorer la fiabilité et à réduire les coûts. En juin 2007, un brevet relatif à l'architecture générale du vérin est validé. La propriété intellectuelle du vérin assure à Eurocopter l'exclusivité du produit alors que Sagem vendait son vérin aux hélicoptéristes concurrents. Des essais caractérisent les réponses dynamiques du nouveau vérin, avant que des investigations complémentaires vérifient son endurance et la conformité des performances aux spécifications initiales, puis la fiabilité des composants électroniques. Enfin, la sécurité des redondances est vérifiée pour consolider les aspects de certification. Les essais ont été concluants et la série est désormais prête à être lancée.

Cette démarche n'ayant pas été appuyée par les achats, cette stratégie n'a pu aboutir. Bien que l'objectif de coût soit atteint et qu'une nouvelle perspective industrielle s'ouvre (à l'exception d'un élément, Eurocopter contrôlera l'ensemble des actionneurs de la chaîne des commandes de vol), ils n'ont pas voulu s'engager avec un nouveau fournisseur et aucune négociation commerciale n'est arrivée à son terme. Bodet Aéro a été perçue comme trop petite pour offrir des garanties d'approvisionnement à long terme, et le risque de compensation par Sagem de la perte de son vérin contre des hausses d'autres équipements a effrayé. Le projet n'a toutefois pas été vain. Ayant permis de démontrer la faisabilité d'un vérin à moindre coût, Sagem a baissé ses tarifs de moitié. Avec le recul, la baisse est nettement moins acceptable qu'elle semblait l'être car Sagem les achète à un prix réduit d'un facteur trois et la différence n'est qu'une marge brute, gagnée sans travail ni investissement. Sagem a en effet passé un contrat de sous-traitance avec Bodet Aéro pour lui permettre de conserver son marché. Trois ans après ce contrat, les nouveaux vérins ne sont toujours pas délivrés, et les anciens vérins de Sagem, livrés au prix initial, continuent d'être montés sur les hélicoptères.

Ce projet illustre combien la cohérence d'intentions entre tous les acteurs de l'entreprise est essentielle. Les divergences d'objectifs internes (indépendance et économie contre sécurité d'approvisionnement) ont abouti à un compromis peu satisfaisant pour chacun.

5.1.3 Système de réglage anti vibratoire

Les vibrations dans un hélicoptère sont une nuisance les éléments structuraux et les composants par la fatigue engendrée d'une part, et d'autre part elles dégradent le confort du pilote et des passagers. Parmi les sources potentielles de réduction des vibrations, le réglage du rotor apparait essentielle [MAL 03]. Cette tâche revient traditionnellement à une équipe de techniciens de piste qui interviennent à l'aide d'un système stroboscopique.

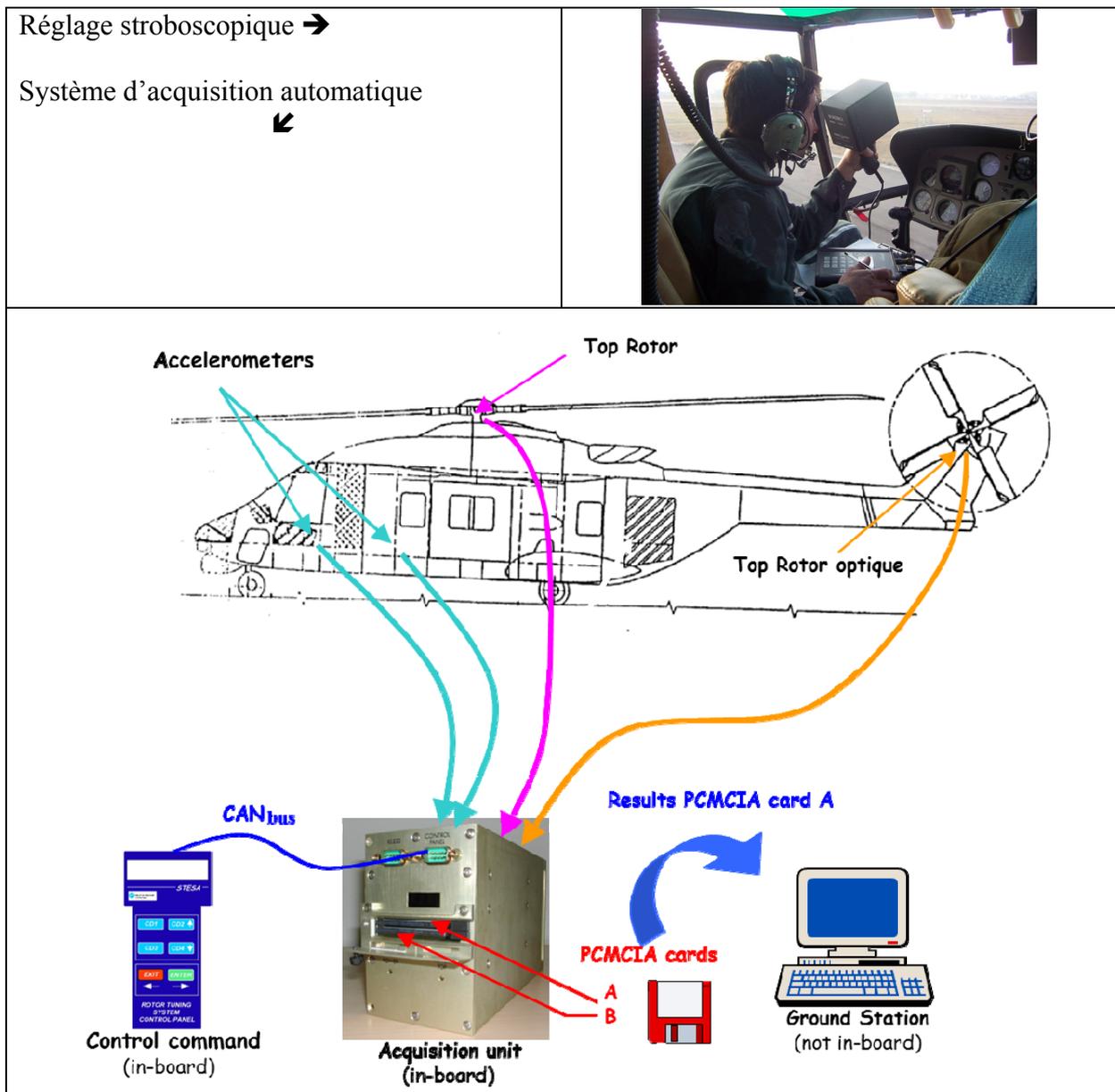


Figure 71 : Réglage du rotor

Le système stroboscopique permet d'effectuer les mesures souhaitées et, à partir d'abaques dédiés, de définir pour chaque paramètre les réglages préconisés. Ce type de mesure consiste essentiellement à modifier la répartition de masse des pales par des masses additives, à modifier l'aérodynamique par l'intermédiaire de Tab, avec pour objectif d'avoir des

trajectoires de pales identiques et des efforts de commandes identiques par pales. Un nouveau dispositif de diagnostic, dédié, le « steady control tooling », a été créé dans le but de réduire les temps de réglages et de les optimiser. A partir d'accéléromètres les niveaux de vibrations sont calculés simultanément, et les paramètres optimaux des bielles de pas et masses additives en sont déduits. Ces réglages sont visibles sur une tablette pour faciliter le travail de l'unique technicien désormais nécessaire. Ce type de technique s'intéresse plus à la conséquence, le niveau vibratoire, qu'à une pseudo cause, des trajectoires différentes de pales.

Les concepteurs ont voulu valider le fonctionnement de cet outillage par des tests comparatifs. Il a été demandé à une équipe de procéder au réglage automatiquement d'abord, puis de le corriger manuellement si besoin par la méthode usuelle. Les techniciens dont l'emploi était supprimé par l'outillage qu'il devait tester, n'ont jamais réussi à en comprendre le fonctionnement. Après plusieurs mois de résultats inintelligibles, des intervenants extérieurs ont été appelés pour démontrer le bon fonctionnement de l'outil. On peut soupçonner une corrélation entre cet échec des techniciens Eurocopter et le fait que la tâche sous leur responsabilité était supprimée par l'outillage qu'ils devaient tester.

S'il est humainement compréhensible de vouloir protéger son emploi, ce projet soulève plusieurs questions managériales. N'était-il pas envisageable de faire valider le nouvel outillage par des acteurs extérieurs directement ? Les craintes légitimes des techniciens suscitées par la suppression de leur poste de travail ne pouvait-elles être anticipées, et des propositions de réorientation avancées pour les préparer ? Une approche relationnelle appropriée et sans doute plus humaine aurait certainement permis à l'entreprises comme au technicien de gagner de temps et beaucoup de sérénité.

5.1.4 Outil de câblage

L'installation des faisceaux électriques sur un hélicoptère est une opération minutieuse. Les câbles sont nombreux et leurs cheminements doivent être strictement conformes aux plans des concepteurs. Jusqu'en 2008, les monteurs disposaient pour chaque circuit de jeux de plans 2D illustrant les différents passages des fils. Leur lecture était complexe et la compréhension des positions réelles du réseau de câbles à installer sur l'appareil demandait une formation spécifique. Dans les ateliers, des responsables d'équipes étaient dédiés à l'assistance des compagnons pour assurer des lectures correctes des plans. Au bureau d'études, les jeux de plans étaient longs à dessiner et assembler et leur préparation sans aucune valeur ajoutée. La validation des jeux ralentissaient encore d'avantage les cycles de montage. Ce process a été repensé pour être plus rapide et réduire le nombre d'ambiguïtés rencontrées par les monteurs. Les jeux de plans papiers ont été remplacés par un outil informatique permettant de visualiser les faisceaux en 3D. Cette amélioration a propulsé le travail des compagnons dans le XXIème siècle. Elle ouvre la voie pour des projections de réalité augmentées à partir de casques, et autres outils ergonomiques futuristes. Fiers de leur maîtrise technologique, les ateliers de production allemands ont immédiatement adopté le nouveau système. En France par contre, il a été rejeté pendant des mois. Il lui était reproché d'importer dans les ateliers des accessoires dérivant l'attention des compagnons, désormais en contact direct avec les concepteurs. La perte de la supervision de l'ensemble de l'activité par les responsables d'équipe étaient jugée dégradante pour la qualité. Les réticences n'ont été levées qu'après la démonstration par des équipes allemandes de leur capacité à maîtriser le nouvel outil.

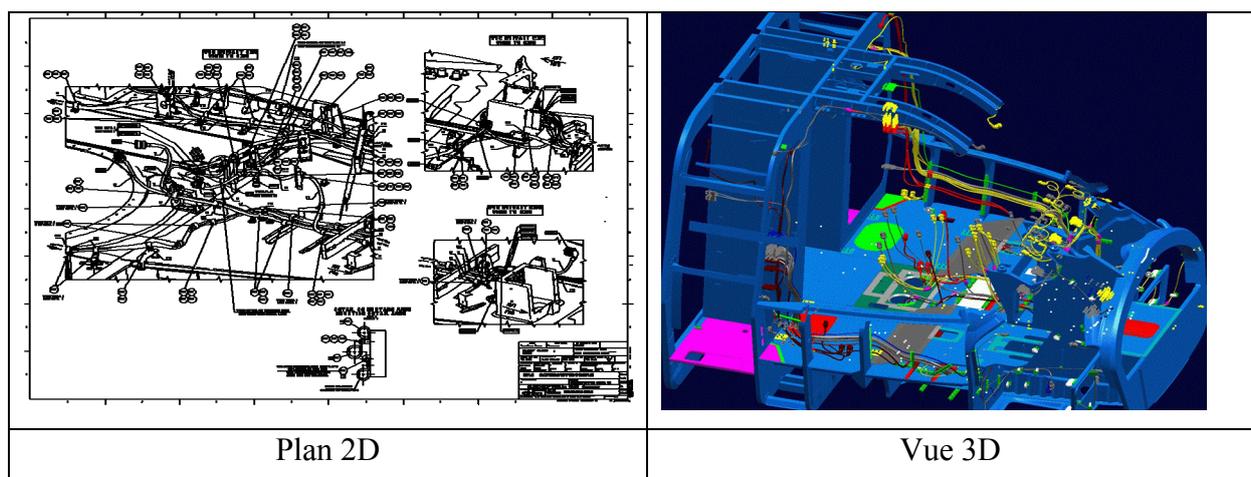


Figure 72 : intégration du faisceau électrique

5.1.5 Transmission super critique

En 2006, les arbres de transmission ayant été identifiés comme pièces onéreuses, en achat et en maintenance, un projet est lancé dans le but de réduire ses coûts. Sur un hélicoptère la transmission arrière est composée d'arbres accouplés mécaniquement et guidés en rotation par des paliers. Les inspections régulières des roulements montés sur les paliers sont chères pour les clients, en particulier sur l'EC130. Pour cet appareil léger, ces coûts sont proportionnellement élevés par rapport au prix d'achat. Un nouveau design doit être imaginé, par exemple une transmission s'affranchissant des éléments de liaison mécanique pour réduire de facto les coûts.

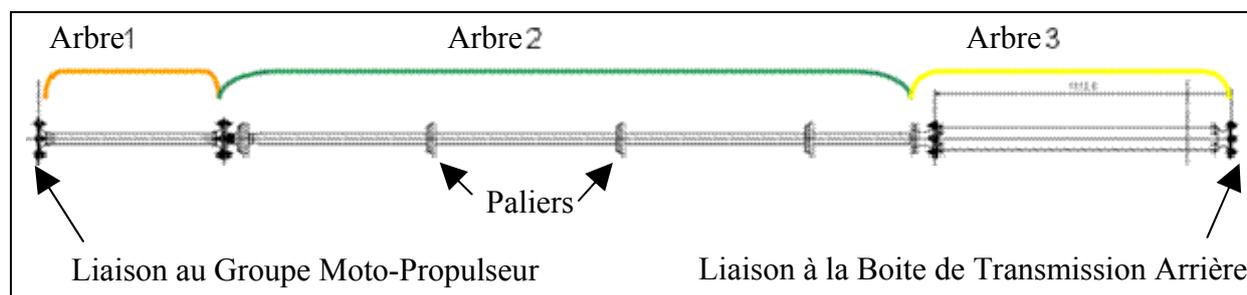


Figure 73 : Schéma d'une transmission arrière classique

En 2006, une première réflexion conduit à étudier une transmission supercritique (suppression des paliers). Elle n'a pas abouti car aucune méthode d'équilibrage n'a pu être établie. En juin 2008, il n'est toujours pas possible de statuer sur la transformation éventuelle de l'idée en projet. Une équipe dédiée est alors désignée. Elle cherche à remplacer l'ensemble des cinq arbres par un seul de 3,6m de long et porte une attention particulière au méthode d'équilibrage. Une démarche similaire a déjà été conduite sur l'EC 120, le tigre et l'EC175, qui sont pourvus d'arbres « super critique » leur permettant de passer un mode de flexion. Sur l'EC130 le nouvel arbre doit permettre de passer 2 modes.

La première difficulté est économique : il faut trouver une société capable de réaliser un arbre de qualité de cette longueur. Les deux autres sont techniques : il faut définir une architecture intégrable sur la structure existante et dimensionner l'arbre d'un point de vue vibratoire. Il est en effet essentiel pour la viabilité économique du projet que la nouvelle transmission puisse venir remplacer les anciennes sans imposer de lourdes modifications. Sur l'EC130, les arbres situés au-dessus de la poutre de queue laissent présager d'un montage facile.

La recherche d'un partenaire conduit à éliminer la société allemande Pankel délivrant les arbres classiques. Elle n'est pas équipée pour produire des arbres de cette longueur et le marché est trop faible pour envisager un investissement. Elle les sous traite généralement à la

la société autrichienne Alunna. Elle n'est pas qualifiée pour le marché aéronautique et la qualification est trop coûteuse pour qu'elle le devienne. D'autres partenaires, dont la société Asquini MGP possède les savoir-faire et les qualifications, mais les tarifs sont trop élevés. Le montage partenarial est alors repensé : ce n'est plus un mais deux partenaires qui interviendront, l'un pour l'étude et le prototypage et l'autre pour la production industrielle. La qualification n'est pas nécessaire pour la première phase, permettant de bénéficier de la réactivité d'une petite firme et de tarifs plus avantageux.

Les études de dimensionnement sont conduites en parallèle. Le dimensionnement doit permettre de passer les deux premiers modes de flexion avant le ralenti sol (80hz) et le troisième après l'autorotation (118hz) pour assurer un comportement vibratoire satisfaisant de l'arbre sur toute la plage de fonctionnement, le régime nominal étant à 100hz. Sur l'EC 130, cela signifie respecter la géométrie existante de la structure pour éviter la réinjection d'effort en dehors des cadres forts et paliers déjà en place, sinon cela contraindrait à renforcer la structure. Par ailleurs il faut veiller à ce que l'amplitude de débattement reste assez faible, sinon cela contraindrait à modifier les capots protégeant l'arbre des perturbations thermiques générées par la turbine voisine. Ces contraintes aboutissent d'une part à l'ajout de masse autour de l'arbre pour l'équilibrer à son régime de fonctionnement et d'autre part à la mise en place de bagues dissipant de l'énergie par frottement sec (damper) pour amortir les vibrations induites par les grandes amplitudes lors des passages des modes. En mars, les liasses sont rédigées. En Mai 2009, le premier prototype est réalisé par Alunna. La vérification du respect des contraintes est confiée à l'école des Arts et Métiers d'Aix-en-Provence qui possède un banc d'équilibrage pouvant accueillir des arbres longs et les faire tourner à ces vitesses.

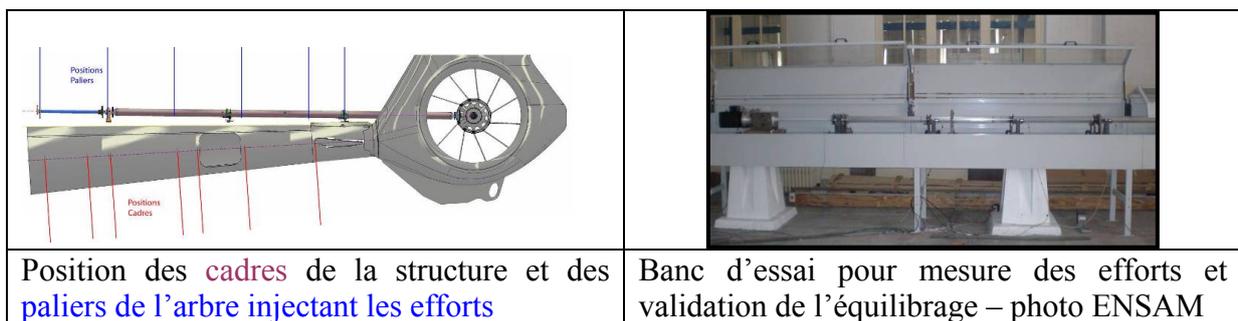


Figure 74 : contraintes géométriques

En Novembre 2009 la campagne de mesure des efforts réinjectés au passage des modes débute. Un premier problème de compatibilité de matériau entre l'arbre en aluminium et la bague amortissante en torlon apparaît. Un second concerne la fixation des masses qui implique de prévoir des systèmes de freinage pour garantir dans le temps l'équilibrage de l'arbre. Trop complexe, l'équilibrage par ajout de matière doit être abandonné au profit d'une solution par

enlèvement de matière. Le risque devient alors la mauvaise évaluation des tolérances de fabrication faussant la prévision de la quantité de matière à enlever. En effet, la géométrie du tube impacte directement le balourd de l'arbre à contrer. Mal maîtrisée, la quantité de matière à enlever disponible peut être insuffisante pour parvenir à l'équilibrage. En Février 2010 un second prototype est lancé. L'aluminium classiquement choisi pour les bagues d'équilibrage est remplacé par l'inox 15.5 PH car il offre à volume identique une plus grande capacité d'enlèvement de matière. De plus il ne nécessite pas de traitement pour limiter l'altération due au frottement de la bague amortissante. La conception d'un arbre offre l'opportunité d'enrichir encore le design. Une interface mécanique démontable est ajoutée entre l'arbre et la boîte de transmission auxiliaire (BTA) pour faciliter le passage de l'arbre dans le trou fenestron. L'équilibrage et la vérification de l'amplitude du débattement de ce second prototype s'avère satisfaisant. Un dernier prototype, représentatif de la série cette fois, est construit pour subir des tests en fatigue. Ils sont réalisés directement dans le laboratoire d'essai d'Eurocopter, le « Labogyr ». En Octobre 2010 la solution technique est finalisée : la rédaction des documents de justification peut commencer. Les calculs de résistance de la structure et de tenue de l'arbre en fatigue nécessaire à l'obtention de l'autorisation de mise en vol du prototype sont présentés. Enfin, le partenariat est sécurisé juridiquement, dès validation de la cotation des produits finaux. Les nouveaux arbres seront dès lors construits à l'identique par la société Asquini MGP. Les coûts de fabrication ont été réduits de 40% (un arbre revient désormais à environ 5k€) et les coûts de maintenance directe réduits de 1,4 € par heure de vol. Leur intégration sur des machines plus anciennes n'impose aucune de modifications de structure, mais seulement le remplacement des capotages. Ce changement n'est pas très pénalisant dans la mesure où les capots sont rehaussés de 30mm, n'induisant aucun impact aérodynamique.

Ce projet peut être considéré « classique » pour l'industrie hélicoptériste car l'objectif visé est une réduction de coût, les risques sont essentiellement techniques et les partenariats ont été dictés par des contraintes de satisfaction aux normes de qualification aéronautiques et d'amortissement limités d'outils de production induits par les faibles volumes de vente. Il a réussi à aboutir grâce à la réactivité des acteurs. Le partenariat avec une petite structure bien que non certifiée pour l'aéronautique, s'est révélé particulièrement avantageux.

5.1.6 Synthèse

Seules leurs phases de développement des projets ont été présentées, car le temps de retours des phases de production industrielle et de commercialisation dépassent le temps de cette thèse et nombres de données sont demeurées inaccessibles. A travers le suivi de plusieurs dizaines de projets au sein du département innovation, dont les cinq précédents sont représentatifs, ont été constatés les phénomènes récurrents suivants :

Le premier constat est la **vulnérabilité des projets**. Quelle que soit leur finalité, tous les projets d'innovation ont tous, à un moment ou à un autre, failli être interrompu après la survenue d'un évènement extérieur imprévu. Il faudrait donc insister sur l'importance de l'analyse des risques pour mieux les identifier et les anticiper. Il s'agit non seulement de mieux saisir les projets et leur contexte, mais surtout de préciser le concept même de risque. Non perçus, aucun risque ne peut être appréhendés et encore moins réduit.

Le second constat est la présence de **périodes de crises**. Aucun projet n'a été conduit linéairement. Les perturbations engendrées, sont le plus souvent liées à la manière dont les évènements ont été gérés et non à la nature de ces évènements. Par exemple le rachat du partenaire par un concurrent (projet de servocommande) semble a priori plus pénalisant que la réticence d'utilisation d'un nouveau matériel que par du personnel de l'entreprise (projet de réglage). Pourtant, dans les faits, les dérives connus par ces projets ne le traduisent pas. Il faudrait donc se préparer à affronter ces périodes. Il s'agit de comprendre les marges d'actions acceptables pour s'assurer de rester concentrer sur un objectif profitable sans risquer de trop perdre à la suite d'une décision trop précipitée.

Le troisième constat est la **subjectivité d'appréciation** des situations dans lesquelles se déroulent les projets. La perception des risques et opportunités, conditionnant la motivation des équipes et leurs actions, repose sur des facteurs personnels. Par exemple la dégradation des relations avec leurs fournisseurs a encouragé le lancement du projet de servocommande, malgré les déboires. Il faudrait donc construire un canevas de valeurs et les types comportements attendus ou répréhensibles conséquents, pour unifier les perceptions des individus et vitaliser les équipes.

Au-delà de faits, de méthodes ou des ressources communes, la conduite à terme d'un projet apparait essentiellement favorisée ou contrariée par des comportements pouvant être classés de la façon suivante:

😊 Les incitations

- La **persévérance** : la résolution des difficultés dépasse la simple volonté d'aboutir et tient souvent à la ténacité, voire l'opiniâtreté des équipes. Quelles que soient les motivations et les soutiens qui les encouragent, les innovateurs ont en communs de savoir conserver leurs ambitions sur le long terme.
- La **réactivité** : l'urgence de se dégager d'événements imprévus contraint à réviser les actions en cours de projet. Le succès ne tient pas à une improvisation hasardeuse mais à l'esprit d'entrepreneuriat des innovateurs.

😞 Les freins

- La **suffisance** : le décryptage erroné du contexte d'un projet relève le plus souvent d'une mésestimation de la force des acteurs. Quand l'imprévisibilité des événements est relative. La défaillance de vision stratégique est alors la cause des perturbations.
- Des **relations conflictuelles** : la focalisation sur les résultats ne traduit ni les efforts consentis ni les trésors de compétences déployés quand une crise contraire les projets. les pertes de confiance et les incompréhensions mutuelles sont sources de reproches. Elles sont a minima des pertes de temps et induisent des résistances aux changements.

Ce n'est pas tant des facteurs clés de succès ou des méthodes qui expliquent les trajectoires des projets d'innovation mais un état d'esprit. Pour innover, c'est-à-dire conduire à terme les projets d'innovation, il faut sortir d'un fonctionnement de type process pour un fonctionnement centré sur la mobilisation et la reconnaissance de qualités humaines.

5.2 Retours d'expérience

Le suivi de projets d'innovation a permis de constater des phénomènes récurrents : quelles que soient leurs finalités industrielles, les projets ont en commun de connaître des périodes de crises et d'être soumis à des contraintes paradoxales nées de besoins simultanés de confidentialité et de compétitivité. Ce paragraphe a pour objectif d'analyser ces manifestations pour dégager des facteurs d'approche favorable à l'aboutissement des projets.

Les périodes de crises résultent de l'incertitude du contexte et de l'urgence des réactions dont dépendent les projets. Même lorsque la faisabilité technique est assurée, la réalisation d'une innovation est en effet incertaine : les projets sont soumis à des événements imprévus générés par les concurrents, la compétition commerciale étant leur finalité. Ils dépendent de relations partenariales que des ambitions ou un repliement sur des intérêts propres au détriment du projet commun, peuvent dégrader. Ils dépendent de la disponibilité de ressources et d'un délai fixé par le marché, le non-respect d'objectifs leur étant fatidique. Quand leur maîtrise peut garantir d'atteindre des résultats, nul ne peut prédire l'ensemble des moyens à déployer pour y parvenir, le développement de technologies non matures procédant par la compréhension des erreurs. Les contrariétés sont d'autant plus forte que les investissements sont élevés et les collaborations récentes, ce qui est souvent le cas dans des partenariats d'innovations dans l'industrie hélicoptériste. Au degré d'incertitude des projets correspond l'urgence des actions correctives. Moins un événement est anticipé, plus il nécessite une réponse rapide en vue de contenir d'éventuelles dérives. Mais l'identification de risques ne peut être exhaustive et tous les événements ne sont pas prévisibles.

Par ailleurs, comme les projets ont un caractère stratégique pour l'entreprise, la recherche de compétitivité de l'innovation impose une contrainte de confidentialité. Quand la compétitivité incite à l'ouverture en vue d'acquérir de nouveaux savoirs, la confidentialité requiert de s'isoler pour protéger le capital acquis par l'entreprise. Pour assurer la cohérence des actions, la logique du projet fixe le coût d'acquisition de l'information, les seuils de négociations avec les partenaires et les critères de pondération. L'équilibre entre des exigences paradoxales, se construit au travers d'options stratégiques tranchant entre besoins de coopération et volonté d'autonomie, entre choix d'optimisation et décisions de transformations. Il est d'autant plus difficile à aborder qu'il est souvent mis à mal lors des inévitables périodes de crise.

5.2.1 Gestion de crise

Le processus d'innovation est un cycle de création et de sélection, qui alterne des phases de recherche exploratoire et de synthèse. Depuis l'émission d'une idée jusqu'à sa concrétisation des cycles tantôt divergents tantôt convergents se succèdent, l'un permettant d'enrichir les projets par des démarches opportunistes et l'autre de réduire la complexité des projets par abandon calculé [DOO 99]. Par exemple à une recherche de fournisseur (divergence) succède la sélection du montage partenarial (convergence), L'alternance des phases est rythmée par le contexte et la qualité des actions conduites. Elle entraîne souvent une variation du périmètre du projet (redéfinition d'objectif, de ressources...). Quand le changement est motivé par une volonté de simplification, le désordre n'est qu'apparent et le processus d'innovation est stable mais quand il est induit par une contrainte extérieure, le projet est en crise.

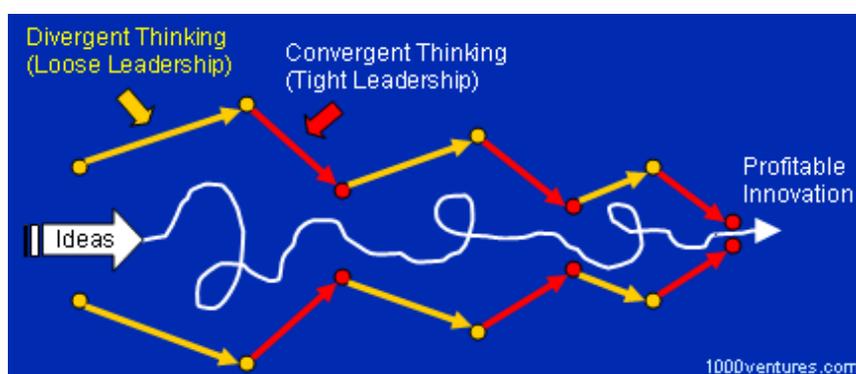


Figure 75 : Alternance des phases de convergence et divergence

Le terme « crise » admet trois définitions dans la langue française [LAR 10]: c'est un changement rapide en bien ou en mal survenant dans l'état d'un malade, une manifestation émotive violente, et enfin une phase d'évolution généralement décisive dans l'évolution des choses. De fait ce sont bien des crises que traversent les projets : tous sont soumis à des événements imprévus qui remettent en question leurs logiques de développement. Les ruptures de comportements exigées pour y répondre poussent à leur paroxysme les tensions entre les différents acteurs. Les crises sont dangereuses car elles menacent l'existence des projets, mais utiles et saines en ce que leur caractère dramatique est révélateur des conflits latents que la nécessité contraint à résoudre.

La littérature propose de nombreuses méthodes pour éviter ces crises (méthodes d'identification des risques) les anticiper (méthodes et conseils d'évaluation des impacts sur un projet) ou les réduire (prévisions des actions correctives à entreprendre). Ces méthodes sont dites « de gestion des risques ». Elles reposent sur des distinctions de la nature des événements identifiés comme sources de perturbations (technologiques, économiques...), de

leur probabilité d'apparition et de leur gravité. Elles ont pour objectif de prévoir les troubles pour mieux en gérer les conséquences. Cependant, leur efficacité est limitée car des événements demeurent imprévisibles (les actions des concurrents par exemple). Si les méthodes de gestion des risques sont bénéfiques, elles n'offrent aucune garantie d'éviter des crises. L'inéluctabilité des crises a incité à préciser l'essentiel des actions à entreprendre pour mieux les traverser [FIS 91]. La discussion ci-après précise le sens de ces actions et identifie un facteur aggravant à minimiser (les conflits) et propose une application (la préparation des contrats).

- ***Les sens des actions : accepter la crise pour mieux la traverser***

Parmi les diverses manières d'envisager le monde des entreprises, celle de H. Mintzberg a été retenue [MIN 94]. Il souligne que la complexité du monde le rend irréductible à une démarche purement analytique et qu'il est préférable d'accepter le désordre organisationnel plutôt que de tenter de le réduire. En d'autres termes, il est plus profitable d'accepter d'être soumis à des aléas plutôt que de chercher à tous les anticiper. Ainsi, les responsables de projets ont intérêt à opter pour une conduite opportuniste, prêts à tirer avantages des inévitables changements, plutôt qu'à limiter leurs champs d'action en s'enfermant dans une logique trop planificatrice, plus rationnelle et plus sécurisante mais moins réaliste. Pour affronter une crise, la principale recommandation qui doit guider les actions est de l'accepter.

- ***Facteur de crise aggravant à minimiser : les conflits***

Les crises étant sources de tensions, des conflits naissent de la confrontation d'opinion. L'urgence de la situation restreint les discussions et la gestion des malentendus qui en découlent pénalisent les projets, au moins en pertes de temps (actions à reprendre, incohérences...). A la lumière des projets suivis, deux principales sources de conflits ont été identifiées: les divergences d'intérêts et les divergences d'objectifs entre les acteurs.

Les divergences d'intérêts ont pour enjeux la sécurisation de gains financiers. Elles affectent les partenariats dont les espoirs de gains sont contrariés. Elles s'expriment par le repliement de chacun sur ses intérêts propres au détriment de l'avancée du projet commun. Les divergences d'intérêts sont amplifiées par au moins deux facteurs: la récence des collaborations et l'internationalisation. La récence des collaborations empêche de minimiser les contrariétés au vue des bienfaits apportés lors d'expériences antérieures. Les différences culturelles complexifient la compréhension des comportements et des attentes des partenaires.

Les divergences d'objectifs ont pour enjeux la répartition des pouvoirs. Elles affectent les décisions prises pour la conduite d'un projet. Elles s'expriment par des contestations au sein d'une même équipe ou entre partenaires. Les divergences d'objectifs sont amplifiées par au moins deux facteurs : l'urgence de la situation et l'implication personnelle des acteurs dans les projets. L'urgence de réaction interdit, faute de temps, de concilier des visions différentes, les mesures sont contestables et ne satisfont personne. L'implication personnelle des acteurs, née de la projection de l'innovateur dans sa création et de son besoin de reconnaissance, transforme les critiques de propositions techniques en évaluation de la qualité des personnes, faussant le sens des actions à entreprendre. L'implication est d'autant plus grande que les méthodes de conception sont libres. C'est le cas de l'industrie hélicoptériste, encore proche de l'industrie artisanale sous certains aspects. Le tableau 8 récapitule les éléments des conflits.

Conflits	Divergence d'intérêt	Divergence d'objectifs
Causes	Répartition des gains	Répartition du pouvoir
Expression	Négociations	Critiques des décisions
Facteurs d'amplifications	Récence Multiculturalisme	Urgence Implication personnelle

Tableau 8 : Analyse des conflits

Les fréquences des conflits sont accrues dans les projets d'innovations car les partenaires sont plus nombreux, les projets plus risqués et les risques de dérives budgétaires et temporelles plus élevés. Ces conflits sont d'autant plus intenses que les investissements sont élevés et qu'ils engagent la stratégie de l'entreprise. Avec de hauts seuils d'entrées l'industrie hélicoptériste est ainsi particulièrement vulnérable. Les contestations opposent différentes échelles de valorisation des actions nées de perceptions différentes du sens de l'innovation. Par exemple, des acteurs privilégiant une performance technique donnée contestent les choix et les allocations de ressources à ceux préférant assurer les objectifs de coûts. Certains perçoivent leur activité de conception comme la recherche de rupture en envisageant la compétition à long terme tandis que d'autres perçoivent l'innovation comme une recherche de compétitivité pour assurer des parts de marché. Ces débats entre créateurs et pragmatiques ne les opposent pas sur le fond mais relèvent de perceptions différentes de priorité. Ils sont sources de conflits quand une décision contraint à des choix exclusifs. Les options du projet doivent alors être imposées et elles sont d'autant plus difficiles à faire accepter que dans l'industrie hélicoptériste les tailles des partenaires ne sont pas symétriques et le plus fort semble toujours l'emporter quelle que soit les arguments avancés.

- *Solution pour minimiser les conflits: la préparation des contrats*

Pour ne pas surajouter de perturbations aux inéluctables crises et ne pas complexifier la gestion déjà délicate d'un événement imprévu, une solution est de minimiser les conflits, tant ils sont fréquents. Les affrontements ont pour origines une insatisfaction du système de répartition des gains qu'une crise bouleverse et une perception différente des actions à engager. Les propositions pour limiter l'impact des conflits sont de préparer un cadre pour les inéluctables renégociations en cours de projet et de préciser le sens du projet pour prioriser des actions. Les contrats apparaissent dès lors jouer un rôle prépondérant.

Les contrats ont pour rôle de réguler les échanges entre partenaires, en établissant un cadre normatif de prévisions des comportements. Les difficultés dans le cas des projets d'innovation proviennent de l'incertitude de leur aboutissement et de leur vulnérabilité à des événements imprévisibles. Pour permettre aux partenaires de démontrer le respect de leurs obligations de moyens et de compétences, quand les résultats ne sont pas atteints, les contrats essaient de prévoir tous les cas d'évolution et se complexifient. Ils sont moins lisibles mais ils demeurent incomplets. Ils sont d'autant moins lisibles que la mondialisation les enrichit de normes internationales pas obligatoirement comprises par les partenaires. La complexification entraîne des différences de perception des obligations souscrites, augmentant les contentieux. Préparer un cadre juridique de renégociations consiste alors à s'assurer d'une compréhension commune des évolutions du contexte à venir. Que la perception commune découle du partage d'une référence de base ou qu'elle nécessite l'établissement de réajustements réguliers, elle doit veiller à faire percevoir l'expression des rôles et responsabilités de chacun des partenaires, comme celles des risques. Les contrats doivent ainsi préciser le sens des actions.

En période de crise, les difficultés d'entente sur les d'actions correctrices proviennent du fait que les motivations d'un projet sont en général multiples. Or l'urgence de réaction impose souvent de concentrer les efforts selon une orientation unique, et les visions stratégiques s'opposent. Par exemple certains veulent prendre le temps de réexaminer les ambitions initiales quitte à arrêter le projet, d'autres sont prêt à des compromis drastiques pour mener le projet à terme, quitte à le dénaturer. Préparer un cadre juridique de renégociations nécessite de s'accorder sur les visées stratégiques dont découlent les priorités, pour converger plus vite vers une solution satisfaisante. Au cœur de la logique de priorités les questions des droits de propriétés industrielles sont centrales. Elles définissent en effet les marges de manœuvre des partenaires. Evaluer de la pertinence des revendications suppose d'identifier les objectifs d'un projet et de les avoir distingués de ceux des partenariats. En effet, que le projet soit mené à

terme ou non, les titres de propriété restent. La rédaction de contrat de renégociations, pour assurer la cohérence des actions, demande ainsi de définir une double échelle stratégique, à court terme fonction du projet et à long terme de l'entreprise.

- ***Propositions pour mieux traverser les périodes de crise***

Les marges de manœuvre sont décisives pour trouver des issues lors de crises. Les contrats assurent la cohésion des projets, non seulement en répartissant les rôles et responsabilités, mais également en exigeant pour leur rédaction de préciser le sens des intentions et les priorités stratégiques de chacun des partenaires. En prévoyant des cadres de renégociations, ils limitent l'impact d'évènements imprévisibles. La place centrale des partenariats, au travers des contraintes de situations monopolistiques et de taille réduite du marché confère aux contrats un rôle majeur dans le processus d'innovation. Ce rôle est d'autant plus important que le nombre d'alliances de recherche et développement ne cesse d'augmenter [DAS 01] de par la spécialisation des technologies et la mondialisation des échanges. Elle se traduit logiquement par l'augmentation des risques de contentieux et impacte l'industrie hélicoptériste dont nombre de projets a pour objectifs de rompre des partenariats.

La proposition pour préparer aux mieux les contrats, dans le but de limiter les conflits et faciliter les sorties de crises, est de les rédiger de manière à en faciliter l'acceptation. Les acteurs doivent pouvoir comprendre leurs rôles, responsabilités et marges de manœuvres, pour en déduire un comportement approprié, saisir le sens du projet et les règles de priorités des actions pour aborder aux mieux les renégociations. Cet effort de rédaction demande d'adjoindre aux centaines de pages des contrats des précis, exempté du vocabulaire juridique pour insister sur la formulation des intentions et aider à leur assimilation.

A l'heure des réseaux sociaux, les nécessités de transmission des connaissances et la mondialisation font exploser le volume des échanges, porter l'attention sur le caractère relationnel des projets d'innovation, ne serait-ce que lors des périodes particulières que sont les crises, fait sens. Quand les dernières décennies ont été obsédées par l'avancée paramétrique des performances, comme le déclame la devise « Better, Cheaper, Faster » de Boeing reprise internationalement, les problématiques se sont désormais déplacées vers les gestions partenariales. L'innovation a déjà été définie comme un état d'esprit. Une proposition pour l'encourager est de promouvoir une attitude : l'acceptation.

5.2.2 Confidentialité versus compétitivité

La compétition impose de commercialiser des produits innovants, différenciant l'entreprise de ses rivales. Pour atteindre ce but, ils doivent être attractifs pour les clients et non reproductibles, à court terme au moins, par les autres compétiteurs. La réussite des projets innovants repose ainsi autant sur leur compétitivité que sur leur confidentialité. Quand les contraintes sécuritaires impliquent des mesures de contrôle et d'isolement, pour se protéger contre les risques de fuites, les exigences créatives nécessitent au contraire d'explorer de nouveaux espaces informationnels parfois incertains pour parcourir des champs de recherches non maîtrisés. Quand la confidentialité impose une réserve dans les transferts des informations, la compétitivité invite au contraire au partage des ressources et des connaissances, générant des situations paradoxales. Par exemple, pour protéger un savoir gage d'avantage compétitif une entreprise peut décider de restreindre sa diffusion, mais si la diffusion est restreinte, les employés n'auront pas connaissance qu'ils peuvent développer ce nouveau produit. Le défi des projets innovant est de gérer la simultanéité de ces contraintes. Indépendamment l'une de l'autre les champs de gestion de l'innovation et de sécurisation sont largement explorés. Cependant il est apparu utile de compléter la littérature actuelle en les rapprochant pour proposer une méthode de gestion sécuritaire appropriée à la conduite des projets innovants.

- ***La notion de sécurité industrielle***

La sécurité se définit comme « l'organisation et les conditions matérielles propres à créer une situation résultant de l'absence de danger » [ROB 11]. Pour une entreprise, être à l'abri du danger signifie être assurée de se construire et se déployer. Pour mettre en œuvre sa stratégie, elle doit garantir sa rentabilité à court terme par sa capacité à saisir des opportunités et sa pérennité à long terme par la capitalisation des biens et des savoirs. Pour assurer la protection de ces marge de manœuvre et de ces ressources, la sécurité industrielle s'articule selon deux axes : la protection du patrimoine, physique et informationnel et la non entrave des actions et processus décisionnels. La sécurité industrielle prévient des menaces de dégradations accidentelles ou malveillante en intervenant dans le domaine logistique (sécurisation physiques des locaux, des réseaux, des installations), dans le domaine informatique (non intrusion et non altération des données), et celui des ressources humaines (sensibilisation et consignes essentiellement). Les mesures prises en vue de réduire les risques identifiés s'appliquent à la gestion du matériel et à l'harmonisation des conduites. Les consignes de sécurité assurent la conformité des comportements avec les réglementations en vigueur pour

assurer la liberté d'action de l'entreprise (la répression consécutive à l'enfreinte d'une loi limite les possibilités d'actions). Elle est perceptible au travers des moyens matériels qu'elle déploie et de la pression qu'elle exerce sur les conduites individuelles. Elle les contraint en effet pour établir et veiller au respect d'un équilibre entre responsabilités et obligations mutuelles et elle normalise les échanges en précisant ce qui est acceptable ou non dans les conduites de chacun. La sécurité industrielle veillant à assurer l'ensemble des activités d'une entreprise, engage tous les acteurs. Les obligations qu'elle implique contraignent le déroulement des activités d'autant plus fortement qu'elles sont sensibles. La conduite de projets classés « secret » par le département Innovation a révélé l'intérêt de mesures de sécurité dédiées aux projets innovants pour préserver les intérêts des projets. Leurs besoins en termes de visibilité, de réactivité et de rentabilité souffrent de contraintes inappropriées.

- ***Recherches actuelles***

La littérature en matière de sécurité est d'autant plus volumineuse qu'elle concerne toutes les activités humaines. Souvent initiée par les états [MAL 08], les recommandations étatiques présentes des politiques globales de sécurité : les entreprises s'en inspirent pour établir leur propre stratégie de sécurité. Par exemple le classement des documents et les procédures de manipulations (enregistrement, consultation, archivage...) associées établies par la défense nationale sont repris pour les documents industriels. A la suite de la guerre froide un certain nombre de membres de la sécurité nationale ont insufflé une reconversion dans la sécurité industrielle.. De fait ils ont introduit dans la majorité des grands groupes leurs méthodes et expériences. Aujourd'hui un certain nombre de grand groupe s'interroge sur le bienfondé de cette culture qui dans bien des cas est contre-productive, ne réussissant pas à concilier sécurité et déploiement.

La majeure partie des recherches est destinée à soutenir les acteurs en charge de la sécurité industrielle. Les études sont relatives à la criminologie (études des motivations, typologie des agresseurs, des menaces...) [CUS 07], à la gestion des risques (identification de menaces, systèmes d'évaluation des impacts, ...) [CAR 10] et au déploiement des moyens correctifs associés [CNP 09]. Les études de développement des moyens informatiques de sécurisation de l'information [SEC 02] sont actuellement les plus nombreuses. Elles complètent les études des moyens matériels informatiques ou physiques (dispositifs biométriques, logiciels anti-piratage, systèmes d'alarmes,...) [GRO 08]

Une deuxième partie est destinée à faciliter les réflexions des acteurs en charge de la direction pour mettre en œuvre la protection de leur entreprise. La mise en œuvre des principes de sécurité est analysée sous un angle stratégique (construction et analyse de stratégie ou politique de sécurité) [PIC 11] ou managérial (externalisation des services liés à la sécurité, gestion des centres de sécurité) [FOR 10].

Une troisième partie des recherches est destinée à un public hétérogène au regard de ses fonctions dans l'entreprise, mais impliqué dans ses activités juridiques. Elle est relative à la prise en compte de la sécurité à l'intérieur des activités industrielles. L'environnement global de l'entreprise y est analysé pour être exploité au mieux. Par exemple le décryptage sécuritaire permet d'améliorer l'organisation de la veille industrielle (identification de sources d'informations, construction de réseaux,...) ou l'interprétation des contraintes juridiques (protection par les brevets, limitations des responsabilités, recueil d'informations en vue de procès...). La sécurité vise alors essentiellement la protection du patrimoine intellectuel, à travers des problématiques dépôt de brevets (stratégie [COR 07] ou techniques de dépôt [GAU 05]) ainsi que la protection des échanges partenariaux à travers la gestion des contrats, négociations économiques ou conflits d'intérêts [MAR 08].

Il semble intéressant de compléter ces écrits en proposant une étude destinée aux responsables de projets innovants. En effet, si les acteurs de la sécurité industrielle, dirigeants ou juristes imposent aux projets des contraintes de sécurité, ce sont les activités quotidiennes des responsables des projets qui sont directement impactées. C'est à ces responsables qu'il revient de définir les limites acceptables des mesures, pour garantir simultanément les besoins de compétitivité et sécurité dont les principes et les moyens de mise en œuvre se contrarient.

- ***Les spécificités des projets d'innovation au regard de la sécurité***

Traditionnellement, la sécurisation repose sur la gestion des flux (ressources humaines et matérielles, informations techniques et financières). Les actions visent à dissuader les agresseurs en augmentant les risques et les efforts à déployer tout en réduisant leurs gains et excuses potentiels. Les mesures de sécurité élaborées à cette fin dérivent de techniques de prévention situationnelle [CLA 10], variables en fonction du triangle de la menace (types d'agresseur, objectifs, moyens d'actions) et du triangle des agresseurs (facilité, impunité, motivation). Les mesures sécurisant les flux reposent sur les principes d'isolement et de contrôle. Les projets innovants s'accommodent mal de ces principes : la créativité et la saisie d'opportunités qui les caractérisent sont liées à la capacité d'ouverture et d'échanges. Les moyens envisagés (délocalisation, externalisation, collaborations, mises en commun de

ressources par exemple) rendent délicate la mise en œuvre des exigences listées par la réglementation (norme ISO 27001 par exemple) qui ralenti ou pénalise financièrement les projets. Mal perçues les mesures sécuritaires deviennent parfois même contre productives en incitant les acteurs à les contourner pour assurer l'atteinte de leurs objectifs. Le tableau 9 ci-après liste quelques contrariétés entre les moyens déployés pour les projets ou pour leur protection et les besoins de sécurité et de compétitivité recherchés.

but	Moyens déployés par l'innovation	Conséquence pour la sécurité
Rentabilité	Délocalisation	Divulgateion des informations
	Engagement d'intérimaires	Impossibilité de suivi
	Mise en concurrence de partenaires	Multiplication des possibilités de fuite
	Economie de frais de structure	Limitations des moyens matériels
Réactivité	Partenariat avec de petites structures	Peu de moyens de sécurité
	Impératifs de tenue des délais	Acceptation du contournement des règles
	Multiplication des ressources	Multiplication des risques
	Réduire les boucles décisionnelles	Perte de contrôle
Performance	Groupe de travail, consultants...	Multiplication des possibilités de fuite
	Engagement d'universitaires	Publications d'informations
	Guidage d'experts	Perte de contrôle
	Multiplications des ressources	Augmentation de l'attractivité de l'agression
	Moyens déployés par la sécurité	Conséquence pour l'innovation
Isolement	Limitation des déplacements	Perte de possibilités de partenariats
	Réduction des tentations	Augmentation des coûts, perte de moyens
	Dissuasion de contact	Perte de connexion, de réalisme
	Protection des cibles	Lenteurs d'accès, d'opérations
contrôle	Surveillance des accès	Limitation des sources
	Apple à la conscience	Pragmatisme contre imagination
	Surveillance des tâches	Contraire au droit à l'erreur autocensure
	Identification	Lenteurs d'échanges

Tableau 9 : Exemples de contrariétés entre innovation et sécurité

Les projets innovants se distinguent des activités traditionnelles de l'entreprise dans la variabilité des moyens (ressources humaines, matérielles ou informationnelles): le type et le volume des flux entrants et sortant du projet ne sont plus gérables par avance.

- *Les acteurs ne sont pas catégorisables* en groupes disjoints auxquels des règles seraient applicables, de par la multiplication de leurs caractéristiques statutaires (agents étatiques, universitaires), contractuelles (intérimaires, CDD) ou fonctionnelles
- *Le périmètre physique évolue* (ressources matérielles, emplacement géographique...) car les projets d'innovation sont définis par un objectif et non une activité (délégation d'essais à un partenaire par exemple)

- *Les informations ne peuvent être ségréguées* entièrement car les idées naissent et sont enrichies par la mixité des sources d'information (croisement de techniques...).
- *La sensibilité des informations sont variables* dans le temps ainsi que les critères de sensibilité: les résultats induisent la classification d'informations publiques au départ.
- *Les partenariats sont instables* car conditionnés à l'atteinte de résultats. Ils sont sources de fuite car d'aucun les considèrent comme « des accords transitoires par lesquels un des partenaires réussi à se renforcer au dépend de l'autre » [DUS 95].
- *La formalisation des données sont relatives*. Par exemple, le nombre d'intervenants dans un projet est souvent sans mesures avec le nombre d'heures allouées, faussant la perception de l'importance réelle des mesures à prendre.

Ces particularités affectent toutes les mesures de sécurisation, qu'elles concernent les acteurs, les locaux, les systèmes d'informations ou les procédures d'échanges :

- *L'identification des participants* est problématique car si les acteurs « ayant besoin d'en connaître » d'une activité donnée sont répertoriables, l'absence de catégories complique la gestion d'accès aux données. Les risques de compilation et croisement d'informations, peu sensibles séparément mais confidentielles dans leur ensemble, sont accrus.
- *La sécurisation des locaux* est plus délicate car les restrictions des déplacements et leurs contrôles sont souvent conséquents de transfert d'activités entre partenaires ou organisés dans l'urgence pour profiter d'opportunités. L'adoption d'équipements de stockage sécurités (coffres...) est peu aisée car les besoins d'accès sont en général contrariés.
- *Le déploiement et la sécurisation du système informatique* (serveurs dédiés, cryptage...) est onéreux et non pérenne, donc source de conflits entre partenaires. Comme il affecte directement la qualité et le rythme des activités, liées à la complétude et la disponibilité des informations, ses défaillances sont prétextes de remises en cause sécuritaires.
- *La validation des communications* exige l'acceptation d'une chaîne décisionnelle composée d'acteurs du projet différente de la chaîne hiérarchique traditionnelle, pour gérer les variations de sensibilités des informations. Ces changements sont à l'origine de fuites « par le haut », nul ne pouvant être informé de tout, à tout moment.

- *Analyse*

L'analyse de projets conduit par le département Innovation a mis en lumière plusieurs types de difficultés d'implantation des mesures sécuritaires, conduisant à identifier plusieurs origines des conflits et dégager une approche pour les éviter. Il a été constaté que

- Les mesures de sécurité trop pénalisantes ou trop infantilisantes conduisent les acteurs à s'octroyer le droit de les contourner pour préserver leur capacité d'initiative. Elles conduisent à la formation de groupes créés autour des revendications de dérogations, de force proportionnelle au niveau de coercition perçue, bien qu'en cas de malveillance les responsabilités restent individuelles et l'usage collectif ne soit jamais qu'une circonstance atténuante et en aucun cas un argument à décharge.
- Les règles d'accès aux informations mal adaptées nuisent à la justesse des raisonnements et à la pertinence des propositions. Elles entraînent des redondances d'efforts par ignorance de travaux antérieurs, des défauts de conception et des pertes de temps.
- La limitation des échanges pénalise la créativité en réduisant les sources potentielles de création. Quand l'autorité canalise les énergies et normalise les comportements, la créativité est perçue comme relevant de l'expression spontanée d'une personnalité. Elle est encouragée par l'enthousiasme suscité par l'attrait de la nouveauté.
- Les modifications de comportements imposées par les mesures sécuritaires ne sont pas intégrées par tous les indicateurs d'avancement, déconnectant l'évaluation du travail des efforts consentis. Les notations universitaires par exemple, Indexées sur le nombre de publications, encouragent les chercheurs à publier, quand les entreprises souhaitent taire les recherches avant leur aboutissement commercial.
- Les présentations d'avancement sont déterminantes pour soutenir la motivation des équipes, en crédibilisant les démarches. La vitrine des succès rassurent également les investisseurs : les points forts et sûrs fédèrent les volontés. Cependant, ce sont les faiblesses et les risques qui demanderaient à être communiqués au plus grand nombre pour être évités, alors que leur sensibilité stratégique les fait taire.

En synthèse, les mesures de sécurité entravent la liberté d'action, de capacité de décision et de créativité des acteurs, et réduisent la visibilité des informations et la pertinence des critères d'évaluation. Il apparaît ainsi que des conflits entre sécurité et projets d'innovation naissent de la confrontation entre les perceptions de responsabilité face à celle de liberté, de complétude

d'informations face à celle de pertinence, et d'autorité face à celle de spontanéité. Dans ce cas les mesures de sécurité contrarient les besoins de réactivité des acteurs. De plus, des conflits naissent de la confrontation entre les systèmes d'identification et ceux de reconnaissance, entre les besoins d'authentification et ceux de valorisation du travail accompli. C'est alors les besoins de communications qui sont mis à mal. Autrement dit, les mesures de sécurité entravent la réactivité et la cohérence des actions du projet et les marges de manœuvres ne sont ni suffisantes ni balisées pour investir des domaines d'actions non initialement envisagés.

Cette thèse retient en fin de compte que les conflits de gestion entre sécurité et innovation viennent de ce que les projets sont réorganisés en fonction des contraintes de sécurité, et non les mesures de sécurité orientées en fonction des ambitions des projets. Pour les réduire, il convient plutôt d'adapter les mesures de sécurité de manière à préserver la réactivité et la cohérence des actions et non à l'inverse modifier la gestion des projets pour respecter des limitations sécuritaires. Les projets d'innovation ayant pour objectifs la minimisation de coûts, l'établissement de partenariat ou l'amélioration des performances, les marges de manœuvre nécessaires sont définies en fonction des notions d'« opportunités » et de « partenariat profitable ». Les mesures de sécurité doivent ainsi intégrer l'intérêt des échanges (accès à des ressources complémentaires, continuité des approvisionnements, accès à des marchés...) et les limites de cet intérêt (à condition de conserver des brevets, de bénéficier de tarifs particuliers...) pour être appropriées. C'est ainsi une approche culturelle qui s'impose.

Dans une perspective culturelle, organiser des mesures sécuritaires ne consiste plus simplement à répondre à sécuriser les acteurs, les locaux, les systèmes d'informations ou les procédures d'échanges mais plutôt à promouvoir des valeurs induisant des comportements appropriés et l'acceptation des mesures sécuritaires. La sensibilisation aux enjeux sécuritaires ne se réduit plus à un simple exposé de faits et risques encourus mais à l'expression d'un système de valeurs apte à soutenir les actions individuelles. Il ne s'agit plus de proposer un jeu de règles donné mais de permettre à chacun d'évaluer la conformité des actions envisagées aux objectifs sécuritaires. Les mesures de sécurité sont dès lors orientées vers une gestion satisfaisante des besoins individuels et l'intégration du projet dans les procédures structurelles pour que les différences de priorités entre les entités (achats, département techniques, logistique...) ne soient pas sources d'incohérences. Par exemple, que le test d'un hydrofuge innovant ne puisse plus être effectué lors d'une campagne d'essai réalisée en partenariat avec un concurrent.

5.2.3 Application

La recherche de facteurs clés de succès ou d'échecs, l'analyse des situations de crises et des conflits sécuritaires ont chacun mis en lumière qu'une gestion de projet favorable veille avant tout à la cohérence des actions. A cette fin elle veille à

- la précision des objectifs et du sens des priorités,
- la compréhension des intentions individuelles et des intérêts recherchés dans un partenariat

Les chances d'aboutir du projet sont accrues car la traduction des ambitions initiales en termes d'action et de marges de manœuvre est alors simplifiée. Assurer une meilleure visibilité du périmètre à l'intérieur duquel le projet reste viable est fondamental pour affronter les périodes de crises, pour ne pas avoir à repositionner tous les éléments d'un projet quand l'urgence impose de dégager au plus vite une solution.

- **Précision des objectifs et du sens des priorités,**

Il n'est pas apparu nécessaire de développer de procédés particuliers pour faciliter la précision des objectifs et des priorités. D'une part ces actions sont trop contextuelles pour qu'un procédé global soit pertinent. D'autre part elles sont plus culturelles que méthodiques car conduites selon des critères établis par l'entreprise en fonction des succès d'expériences passées. Il est dès lors plus efficace d'inciter à l'adoption de nouvelles attitudes que de vouloir mettre en cause la manière routinière de fonctionner. Forcer la rédaction de retours d'expérience en font de projet pour dégager les leçons apprises peut permettre non seulement de collecter les bonnes pratiques, mais également de forger un esprit d'équipe orienté selon les mêmes priorités avant de se réengager vers d'autres projets.

- **Précision des intérêts d'un partenariat**

Il est en revanche apparu opportun d'aider les acteurs des projets d'innovation à mieux percevoir les intentions et intérêts de leurs partenaires. En effet, restreindre leur identité à leurs indicateurs financiers et à l'affichage de leur cœur de compétences s'est révélé être une méthode courante bien que peu efficace (voir le projet de servo commande).

Le parcours de la littérature sur les alliances en recherche et développement a abouti à la sélection d'une nouvelle méthode d'évaluation de candidats partenaires : la méthode « RPV »

de C. Christensen [CHR 92]. Pour détecter si une société partenaire peut effectivement relever le défi d'un projet et le soutenir dans une période de crise, la méthode suggère de comprendre ses ambitions à partir des évaluations de ses Ressources, Procédés et Valeurs :

- Les ressources sont des entités pouvant être achetées, (équipement, technologie, personnes, informations, trésorerie...)
- Les procédés sont les schémas de pensées qui accompagnent la transformation par les employés des ressources en produit (méthodes de fabrication, de budget, de recherche de marché...). Formels (procédure rédigées) ou informels (routines) ils permettent de réaliser efficacement des tâches récurrentes de manière systématique
- Les valeurs sont des arguments qui définissent ce qu'une organisation peut faire ou pas (pourquoi un client est important, un produit profitable...).

Les process et les valeurs définissent comment les ressources peuvent être utilisées pour créer de la valeur. Plus les ressources sont abondantes, plus elles sont susceptibles d'être disponibles pour le projet dont les chances d'aboutir augmentent. Plus les procédés sont optimisés, plus ils sont performant mais spécifiques à des tâches données, donc offrir une performance financière intéressante au projet ou être un frein en vue de changements attendus. Plus les partenaires partagent les valeurs, ou critères qui décident de la priorité des actions, plus la communication est aisée et les sources potentielles de conflits réduites. La connaissance de ces trois entités, RPV, permet d'anticiper les réactions en décryptant le type d'événements susceptible de le motiver ou au contraire de freiner son enthousiasme pour le projet commun. La méthode propose ainsi de :

- Cartographier les ressources en collectant les possessions et indicateurs financiers du partenaire (au travers de déclaration auprès d'organismes étatiques par exemple)
- Différencier entre l'expertise, la maîtrise ou la simple utilisation de procédés et d'analyser l'origine de ses méthodes à succès
- Analyser les échelles de priorité acceptées et les fondements de son processus décisionnel au travers de ses expériences passés.

La littérature sur les partenariats est par ailleurs composée essentiellement d'ouvrages théoriques peu utiles au quotidien par le département Innovation. Ils attirent par exemple l'attention sur le rôle des contrats et leur qualité de rédaction, mais ce sont les juristes qui sont

les premiers concernés. Par ailleurs, les discussions d'ordre trop général ne présentent que peu d'intérêt pratique. C'est le cas par exemple de celles remarquant les bienfaits de la correspondance entre la taille de l'organisation et celle des opportunités. Si les innovateurs invités à lire des articles sur ces sujets, c'est plus pour les sensibiliser à des phénomènes de leur environnement industriel et enrichir leurs perceptions personnelles que pour agir directement. Les lectures relatives à la gestion des conflits se sont avérées quant à elles être les plus pragmatiques en proposant des typologies de conflits et des méthodes pour les gérer. [PEA 98]

- **Proposition**

Pour être plus efficace dans la gestion des projets, il est apparu opportun d'attirer l'attention des responsables sur les faits que

- *Les projets sont toujours intentionnels* : ils traduisent la volonté de leur acteurs de mener un projet à terme : aucun projet n'aboutit malgré lui et inversement, il faut souvent un grand investissement pour le finaliser. Un conseil pour maintenir vivante cette motivation est l'incarnation du projet dans une personne ou un groupe de personnes pour fédérer autour d'elles les bonnes intentions.
- *La réalité ne peut être ignorée* : la seule attitude réaliste est de faire face, pour toutes les évaluations ou décisions. Un conseil pour être efficace est d'accepter la compétition et de confronter les résultats à la réalité économique.
- *Les conflits comme les crises sont inévitables* : les projets sont conditionnés par des valeurs culturelles, soumis à l'interprétation de variables subjectives et à l'impact d'événements imprévus. A défaut de pouvoir éliminer ces sources de perturbations, le conseil pour leur résister est l'acceptation.
- *La liberté d'action est essentielle* : Pour ne pas entraver la réactivité et l'efficacité des actions individuelles, les principes structurant les projets doivent être clairs et peu nombreux [EIS 01].

Conclusion

Les dérives budgétaires et temporelles des projets découlent essentiellement d'un manque de coordination des actions. Les poursuites simultanées d'objectifs différents proviennent d'interprétations contraires des priorités, et d'incompréhensions des intérêts ou contraintes sécuritaires. Les mésententes, voire conflits, consécutives ralentissent et pénalisent financièrement les projets.

En conséquence les solutions identifiées pour faciliter la réussite des projets sont de

- renforcer la stratégie, autant pour préciser les objectifs que les échelles de priorités, afin d'aligner les actions et assurer leur cohérence.
- Promouvoir une culture d'innovation pour faciliter les prises de décisions individuelles et l'adoption de comportements appropriés afin de limiter les conflits.

- ***Renforcer la stratégie***

Pour Eurocopter les fréquents changements d'organisation et la profusion des objectifs visés, généralement plus de dix annoncés chaque année (réductions des coûts, amélioration de la performance ou encore respect de l'environnement) induisent des difficultés de décryptages des volontés de la direction. Les changements d'organisation, dans la structure aussi bien que dans les personnes l'incarnant font perdre le sens des actions à engager. Par exemple la multiplication des services dédiés à l'innovation brouille la compréhension des missions de chacun. La profusion d'objectifs induit la redondance de projets visant à faire évoluer une même pièce selon une optique différente bien qu'un seul projet ne soit en fin de compte développé, le marché étant réduit. Par exemple, un service développera un nouveau train d'atterrissage moins cher, quand un autre concevra un train moins lourd et un troisième un train plus rentable pour le constructeur. Quand les trois démarches sont louables, les contraintes industrielles imposent de ne commercialiser qu'un seul. Les coûts de développements s'en trouvent inutilement accrus et la compétition interne entre les services exacerbés d'une manière pas toujours positive. Le manque de visibilité stratégique conduit en fin de compte à sélectionner les projets qui remontent des différents services dans la hiérarchie quand leurs lancements devraient découler d'une concertation entre les services susceptibles d'être impliqués. Il apparaît ainsi qu'une manière judicieuse de promouvoir l'innovation soit pour Eurocopter de limiter le nombre des objectifs visés, de leur donner corps par des propositions d'actions concrètes, identifiables et reconduites d'une année sur l'autre.

- ***Promouvoir une culture d'innovation***

Pour Eurocopter, la confusion des objectifs et priorités accroissent l'influence des personnalités dans les prises de décision. Dans ce contexte les initiatives personnelles sont ressenties comme des prises d'intérêts particuliers, négatives pour les projets. Elles sont sources de conflits d'autant plus importantes qu'elles se heurtent aux petits jeux de pouvoir ordinaires. Pour encourager ces initiatives tout en limitant les dérives individualistes, il s'agit de valoriser des comportements appropriés. La promotion de valeurs de références apparaît indispensable. Pour harmoniser la perception des intentions de chacun. Le chapitre suivant développera cette notion. L'encadrement de nombreux projets à l'intérieur du département Innovation a révélé qu'elle devait à minima revaloriser les compétences techniques, accorder le droit à l'erreur, accompagner l'évaluation des risques.

- ***Promouvoir une culture de sécurité***

Les différences d'objectifs entre les actions du projet et les mesures de sécurité s'expliquent par des différences de termes: pour rester rentable les projets se focalisent à court terme sur le respect de leur planification, pour être efficace, la sécurité doit assurer à long terme la pérennité de l'entreprise. L'innovation vise à procurer à l'entreprise des avantages compétitifs, et la sécurité de les conserver. Il n'y a pas d'opposition a priori mais des mesures de confidentialité inadéquates dégradent la compétitivité des projets. Organiser la sécurité demande d'assurer la cohérence des mesures sécuritaires pour que les actions actuelles ne déjouent pas les ambitions à plus long terme, que les exigences de liberté d'action, de capacité de décision, de créativité et l'attrait fédérateur du projet ne soient pas contrariés Une telle organisation veille à harmoniser les comportements.

6. Structure et Organisation

Introduction

Ce chapitre a pour objectif de déterminer les conditions dans lesquelles les volontés d'innovation ont les meilleures chances d'aboutir. Après les stratégies de choix des nouveaux programmes et l'atteinte des objectifs des projets, il s'agit désormais de comprendre comment la structure et l'organisation encouragent ou freinent les démarches innovantes. Ce chapitre envisage l'innovation d'un point de vue organisationnel pour proposer des moyens de la soutenir, depuis l'émission d'idées jusqu'à la réalisation d'un produit commercialisable.

La première partie vise à déterminer des critères de sélection des propositions pour aboutir à la construction d'un processus d'innovation et s'attarde sur la notion de valeur ajoutée, le facteur économique étant essentiel.

La seconde partie vise à comprendre comment la structure peut encourager les efforts innovants pour enduire l'environnement de travail à construire pour favoriser l'innovation.

La dernière partie vise à identifier les profils des innovateurs et les moyens de soutenir leurs démarches, depuis la création d'idées innovantes jusqu'à leurs aboutissements.

6.1 Création d'un Processus d'innovation

6.1.1 Création de valeur ajoutée

Pour optimiser les gains de l'entreprise, la réalité de la compétition hélicoptériste impose de concentrer les ressources et les efforts sur les projets d'innovations les plus prometteurs en terme de retour sur investissement pour éviter de les dissiper dans de multiples projets n'ayant que peu de chance d'être fructueux. En effet, les financements de nouveaux projets sont limités, de par la hauteur des investissements et les faibles volumes de ventes possibles. Accroître ses capacités d'innovation revient ainsi à miser efficacement sur les ressources de l'entreprise, pour que les bénéfices retirés financent à leur tour de nouveaux projets. La sélection des propositions prime, et cela présuppose de s'être doté de critères. La littérature en

propose de nombreux, quantitatifs ou qualitatifs, économiques, stratégiques ou technologiques, [BLA 07], [ITT 98].

Pour qu'une entreprise soit considérée comme innovante, il faut assurer que les projets sélectionnés arrivent à terme. Les propositions peuvent ainsi être sélectionnées en fonction de critères de maturité technologique. Le temps prévu avant mise sur le marché distingue les propositions de recherche de celles de produits industriels. Des indicateurs du type TRL par exemple peuvent permettre de comparer les propositions entre elles.

Pour qu'une entreprise soit plus innovante, il faut qu'elle ait la capacité financière d'investir à un rythme plus soutenu que ses concurrents. Les critères de sélection sont alors économiques. Il s'agit de choisir les projets en fonction des volumes de ventes, des bénéfices visés, des retours sur investissements qu'ils laissent espérer par exemple. Des indicateurs quantitatifs issus du calcul de Business case, NPV par exemple, peuvent servir à objectiver les choix.

Pour qu'une entreprise soit plus innovante, il faut qu'elle se différencie de la concurrence. Le positionnement des projets par rapport aux ambitions stratégiques de l'entreprise peut servir à retenir les plus à même de s'intégrer dans le plan global de développement. La sélection thématique des projets, à visée environnementale par exemple, fait alors sens.

Pour qu'une entreprise soit plus innovante, il faut qu'elle conforte sa position sur le marché. Les critères de sélection des projets sont dans ce cas commerciaux. Des indicateurs de satisfaction clientèle issus du service de support ou de conformité à des besoins identifiés par le service marketing peuvent par exemple aider à évaluer la pertinence des propositions.

Pour qu'une entreprise soit plus innovante, il faut qu'elle ait les moyens industriels de concrétiser ses ambitions, de par ses d'outils, réseaux et compétences technologiques. Elle doit optimiser son coût d'acquisition de nouvelles informations, en améliorant sa capacité à les créer comme sa facilité à se les approprier. La sélection vise à retenir les projets dont le montage améliore les possibilités de négociations globales de l'entreprise, évite les monopoles, amortit les frais de structure ou apporte de nouvelles sources de veille technologiques par exemple.

La multiplicité des critères pose la question du sens de l'innovation. Le projet sur lequel miser doit-il être le plus rentable, quitte à ne pas être réellement nouveau ou le plus avancé technologiquement, au risque d'échouer économiquement? Faut-il allouer les ressources selon une thématique commune ou au contraire diversifier les placements? Faut-il optimiser les procédés actuels ou intégrer de nouvelles technologies ? Faut-il rechercher l'indépendance ou

créer des partenariats? Ce questionnement ne peut aboutir à la formulation pratique d'une règle de sélection, car il est trop complexe. Il incite plutôt à sélectionner un critère de choix pertinent selon la situation donnée. Les études sur la complexité ayant mis en valeur la nécessité de règles simples [EIS 01] pour faciliter les prises de décision, une règle de sélection de projet peut dès lors s'énoncer comme « la démonstration génération d'une valeur ajoutée par l'entreprise ». Peu importe que le projet soit seulement économiquement attractif mais pas technologiquement avancé ou le contraire du moment qu'il est remarquable au vu d'un critère particulier. L'adoption d'une règle autorisant des argumentations non similaires d'un projet à l'autre impose l'adoption préalable du principe d'évaluation discrétionnaire. La transparence de délibération et la reconnaissance de l'expertise des sélectionneurs remplacent l'objectivité de la notation des critères. Ce type de règle est d'autant plus performant que l'expérience des hommes de métiers compense l'incomplétude et l'incertitude des données et la part d'imprévisibilité des événements qui émaillent la vie des projets.

Le système de sélection des propositions d'innovation étant retenu, le processus d'innovation est ensuite complété par un système de suivi. Dans les industries dont la préoccupation majeure est de limiter d'éventuelles dérives budgétaires ou temporelles, le processus de suivi des projets est généralement organisé en étapes, les projets pouvant être abandonnés à chacun de leurs seuils (Quality Gates) [BLA 07]. C'est le cas de l'industrie aéronautique. L'intérêt de ce processus est économique car il permet de limiter les pertes financières en cas de mauvaise évaluation ou de la survenue d'un événement contrariant non prévu en arrêtant le projet sitôt détection, sans attendre le constat d'une dérive.

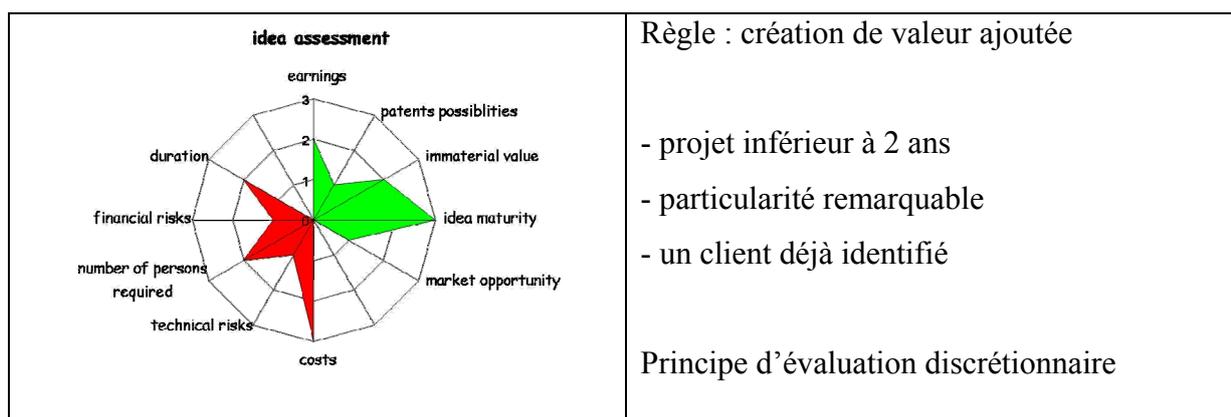


Figure 76 : Critères d'évaluation des projets d'innovations

Le département Innovation a suivi ces recommandations pour élaborer son système de sélection. A partir de 2007, plusieurs jeux de critères ont successivement été retenus avant qu'une règle ne se dégage. Les premiers systèmes confrontaient les investissements aux gains, les possibilités de brevets aux risques techniques, la création de savoir au nombre de

personnes réquisitionnées pour la créer, la maturité technologique au risques financiers ou les opportunités de marché à la durée des projets. Ces systèmes se sont révélés trop délicats. Les motifs de rejet de projet étant en partie subjectifs ils ont été prétextes à trop de critiques. Depuis 2008, le département innovation a abandonné le recours à un système particulier. La règle de sélection des projets est désormais « la démonstration de création de valeur pour l'entreprise et le client ». Les responsables des projets doivent démontrer un aboutissement à court terme pour éviter l'immobilisation des ressources et des variations imprévisibles du contexte industriel, créer un apport remarquable à l'entreprise (réduire les coûts par 3 ou supprimer un monopole par exemple) et avoir déjà identifier un client interne, c'est-à-dire un appareil prêt à intégrer le futur produit, pour garantir la viabilité commerciale de la démarche.

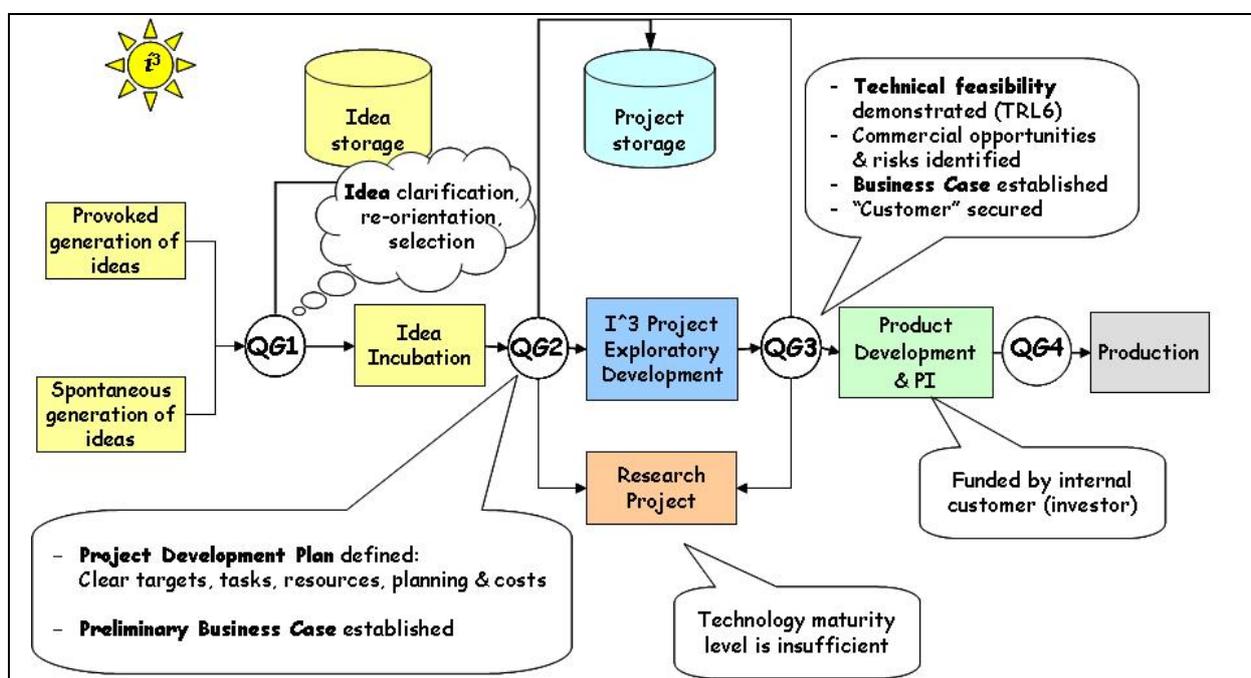


Figure 77 : Processus du département Innovation d'Eurocopter

Eurocopter a bâti un processus de suivi fondé sur la maturité des projets : la première étape est dédiée à la génération d'idée, la seconde à l'enrichissement de celle présentant un intérêt, la troisième à la construction d'un démonstrateur pour s'assurer de la faisabilité, la quatrième de la fabrication d'un premier de série pour identifier les problématiques industrielles et les résoudre avant d'enfin transformer l'idée initiale en produit commercialisable.

6.1.2 Retours d'expérience

La règle de sélection des projets est fondée sur l'appréciation de la valeur ajoutée générée. L'objectif de ce paragraphe est de préciser quelles sont les manières d'identifier es projets qui ont le plus de chances de créer cette valeur ajoutée.

Comme il a été dit par ailleurs, l'industrie hélicoptériste est essentiellement caractérisée par un marché réduit induisant de nombreux monopoles, des particularités technologiques dues au vol stationnaire et vertical, des problématiques commerciales liées au prix des machines, et industrielles liées à leur longue durée de vie (voir chapitre 3). Ainsi, les projets remarquables sont ceux qui visent à libérer l'entreprise de contraintes monopolistiques et des contraintes de gestion de l'obsolescence, et qui offrent des avantages compétitifs significatifs aux clients de par leurs prix réduits ou leurs performances uniques. Parce qu'ils répondent aux problématiques essentielles de l'industrie, ces projets sont les plus prometteurs financièrement.

L'industrie hélicoptériste est caractérisée par le fait que deux tiers des composants entrant dans l'assemblage d'un hélicoptère sont achetés tandis qu'un tiers seulement est réalisé par l'hélicoptériste. Les marges des fournisseurs interviennent dans une part conséquente dans le coût final du produit de par le volume des pièces achetées, et désignent de fait des cibles pour les innovations visant la réduction des coûts, même si ces appréciations doivent être tempérées par les coûts d'acquisition et d'entretien de l'outil industriel. Un critère judicieux de sélection de projet est ainsi le gain économique réalisé par réduction des marges des fournisseurs. La sélection de tels projet nécessite d'avoir identifié préalablement le « juste prix » des pièces à acheter, et le succès réside dans l'art des négociations développées

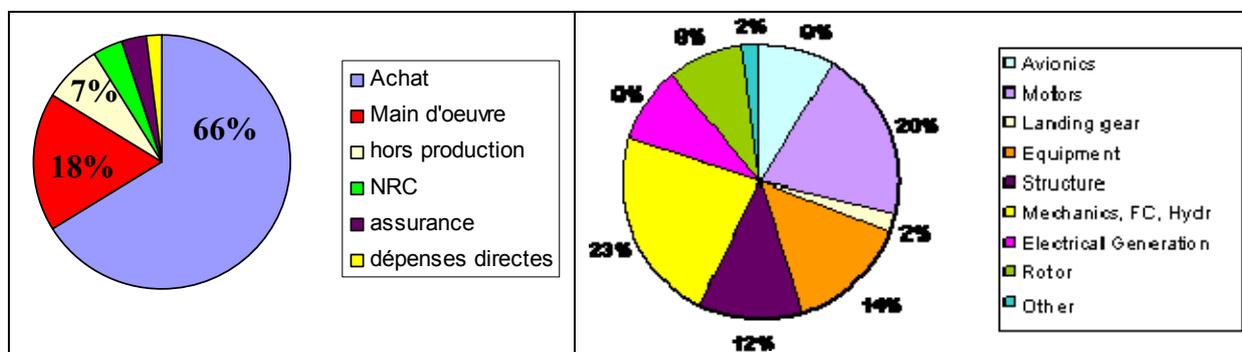


Figure 78 : Répartition des coûts sur un EC155

L'industrie hélicoptériste est caractérisée par des techniques particulières dues aux fonctions de ses appareils. Toutes les pièces liées aux rotors ou aux transmissions de forte puissance par exemple sont propres à justifier l'existence commerciale de l'hélicoptériste qui les produit car aucune autre entreprise n'a d'intérêt direct de les développer. Ces pièces traduisent des savoir-faire techniques uniques. Un critère de sélection de projet est ainsi la différenciation apportée par la maîtrise d'une technologie unique ou peu répandue.

L'industrie hélicoptériste est caractérisée par le fait que les deux tiers du prix d'un hélicoptère sont concentrés dans une dizaine d'ensemble de composants. Par exemple la boîte de transmission principale représente à elle seule 13 % du prix global de l'appareil, les commandes de vol près de 10% et le train d'atterrissage 2%. Une réduction de coût obtenue sur ces pièces impacte directement le prix des hélicoptères et offre un avantage concurrentiel conséquent. Un second critère de sélection des projets est le pourcentage réalisé par le composant dans le calcul du prix global. Les projets centrés sur ces parties ont des probabilités de bénéfices accrues, un gain même petit restant significatif pour le client final.

L'industrie hélicoptériste est enfin caractérisée par le fait que cette industrie est encore semi artisanale, bien que de très haute technologie. Des espoirs de gains résident ainsi dans l'optimisation de l'outil industriel. Pour être rentable dans ce cas, une innovation doit pouvoir être développée à l'aide de technique déjà maîtrisée pour ne nécessiter aucun investissement dans l'outil industriel, ou concerner des composants à assembler les plus significatifs pour le coût global (boîte de transmission par exemple), les plus spécifiques en terme de compétences techniques (pales par exemple) pour être amortie dans la durée. Un dernier critère de sélection est ainsi la possibilité d'amortissement de l'outil industriel.

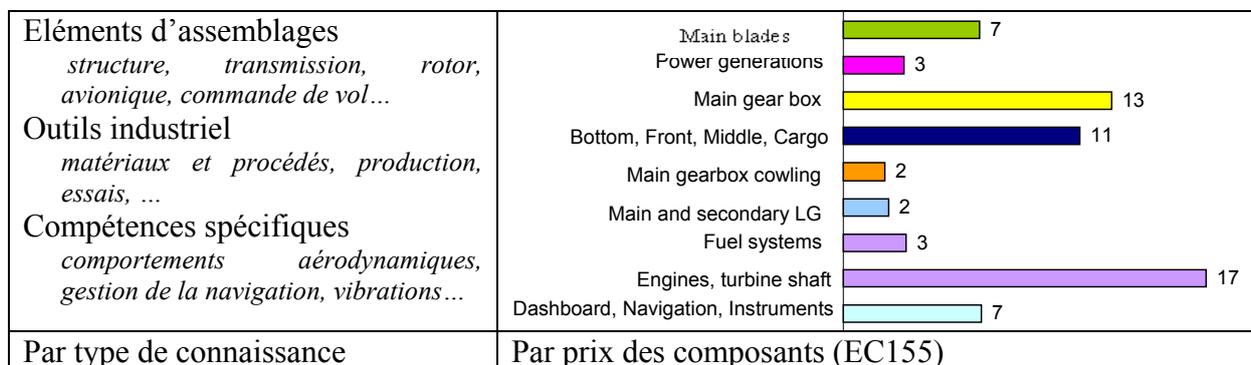


Figure 79 : Décomposition d'un hélicoptère

L'attention des innovateurs peut être focalisée sur plusieurs composants selon la manière dont l'hélicoptère est décomposé. Synthétiquement, les projets ont de fortes chances d'avoir un potentiel de valeur ajoutée élevé s'ils concernent des produits achetés dont les volumes de ventes ou les marges fournisseurs sont conséquentes, des produits intervenant significativement dans le calcul du prix global, des produits offrant des opportunités de différenciation par rapport à la concurrence et enfin des produits améliorant la rentabilité de l'outil industriel. Ils visent à repérer des produits sur lesquels l'entreprise est capable de créer une différence significative financièrement ou technologiquement. Ils aboutissent ainsi à définir une stratégie d'innovation centrée sur la recherche des composants à « forte valeur ajoutée », la valeur ajoutée étant définie comme la différence entre la valeur de la production

au regard des prix du marché et la valeur des biens et des services utilisés pour la produire [ROB 10]. Les travaux conduits pour le département Innovation ont conduit à identifier non seulement des zones de valeur ajoutée mais également à affiner la notion de valeur ajoutée en différenciant divers types, afin de mieux concentrer les efforts d'analyse ou de création. Elles ont été classées selon leurs visées : stratégique, managériale, technique, commerciale, industrielle ou individuelle. Elles sont résumées dans le tableau ci-après. (Figure 80).

Visée	Commerciale	Industrielle	Individuelle
Stratégique	Les avantages compétitifs à tout terme	Les technologies d'avenir à forte valeur ajoutée	Les valeurs culturelles orientant les choix
Managérial	les justes prix et les composants spécifiques	Les bonnes pratiques et les sources d'amélioration	les connaissances et retours d'expérience
Technique	Les possibilités de délocalisations et les produits externalisables	Les outils adaptés (prototypage rapide, banc de test...)	les zones de confort de l'entreprise et les réalités du marché

Figure 80 : Types de valeur ajoutée

Le choix d'un système de sélection particulier des projets conduits à être confrontés à des problématiques récurrentes dans leur conduite. Les pistes d'amélioration s'en trouvent orientées. Le département Innovation ayant opté pour une politique de sélection de projets fondée essentiellement sur la recherche de rentabilité financière à court terme, les projets basés sur le re-engineering et l'engagement de nouveaux partenariats s'en trouvent favorisés. Les problématiques d'achats et de moyens d'essais apparaissent en conséquence fondamentales. Elles ne le sont pas dans l'absolu. Une politique centrée sur l'environnement par exemple les aurait considérés de second ordre derrière les défis énergétiques et les gestions d'obsolescence. Les propositions d'amélioration du suivi de projet n'ont ainsi de sens que très contextuellement, en fonction de l'environnement industriel et de la politique choisie par les acteurs, à un moment précis.

La conduite de nombreux projets a mis en évidence que la réactivité du département était liée à son autonomie : fondus dans le quotidien de l'entreprise, les projets d'innovation sont broyés par les contraintes procédurales. D'une part la gestion des inévitables périodes de crises (voir chapitre 5) nécessite de contourner les procédures administratives de l'entreprise, d'autre part. D'autre part la non linéarité du déroulement des projets n'est pas compatible avec les critères de performance dont les responsables doivent témoigner pour assurer leur avancement personnel. Des moyens de gestion particuliers doivent ainsi être accordés. Le système de sélection étant fondé sur des critères financiers, des procédures d'achats spécifiques ou moyens de prototypage rapide sont des exemples de mesures accroissant l'autonomie du département innovation. Un autre système de sélection aurait conduit à

préconiser d'autres mesures pour accroître la capacité d'innovation recherchée en fin de compte.

Le processus d'innovation est organisé autour de la maturité technologique des projets. La partie visible du travail de conception consiste à développer les concepts technologiques et leur transformation en produit réel. Mais pour améliorer ce processus, les mesures s'écartent du champ technique pour se concentrer plutôt sur les champs économiques et juridiques, au travers des relations partenariales par exemple. La technologie est paradoxalement à la fois essentielle, puisqu'en fin de compte c'est bien un produit à haute technicité qui est recherché, et dévalorisée, car les mesures permettant d'accroître la capacité innovante ne relèvent pas de son domaine. La dévalorisation des métiers techniques conduit les ingénieurs à manager plus qu'à développer leur propres savoirs. Par exemple, alors qu'historiquement les responsables du projet écurieil vérifiaient chacune des pièces pour mieux répondre aux objectifs de coût et de masse, ce travail est dorénavant plutôt confié à des sous-traitants. Cette approche nouvelle se justifie par le constat que l'innovation ne substitue pas des technologies nouvelles à des anciennes mais seulement des technologies mieux adaptées que d'autres à un moment précis [NOS 10], et qu'ainsi les ingénieurs ont plus intérêt à se concentrer sur les choix qui engagent l'entreprise que sur le travail de création proprement dit. La sélection des projets relève de valeur culturelle et l'industrie aéronautique reste, en France au moins, techno-centrée. Cependant il ne peut y avoir d'innovation pour la beauté de la technologie, mais pour l'intérêt des projets pour le devenir global de la firme. Ainsi, ce qui est perçu prédominant n'est pas forcément ce qui est valorisé.

6.2 Implémentation du processus d'innovation

Le système de sélection des projets (projet démontrant une création de valeur, réalisable dans les deux ans, présentant une particularité remarquable et un client prêt à payer pour la posséder) et le processus d'innovation (organisation fonction de la maturité technologique) ne suffisent pas à définir la gestion de l'innovation : les conditions de mise en œuvre demandent également à être précisées. Les premières sont relatives à la structure même de l'entreprise. Elles fixent les moyens à disposition des innovateurs en décidant de l'allocation de ressources ainsi que les limites de leur autonomie. Les secondes déclinent ces mesures dans l'organisation des projets. Elles fixent les relations entre les différents acteurs en répartissant les jeux de pouvoir.

6.2.1 Influence de la structure

La mise en œuvre d'une démarche d'innovation demande en premier lieu de déterminer les acteurs qui vont la conduire et les moyens qui leur seront octroyés. La question est de savoir si les activités innovantes ont plus de chances d'aboutir en étant confiées à des personnels dédiés ou en étant intégrées à l'activité régulière des acteurs traditionnels de l'entreprise.

L'isolement de groupes dédiés à l'innovation de la structure de l'entreprise, groupes désignés par le terme « skunk work », remonte historiquement à la seconde guerre mondiale. La conception de l'avion « Lulu Belle » par un skunk work de la firme Lockheed en à peine six semaines a mis en vogue ce modèle d'organisation. Cependant les travaux conduits depuis ont démontré des performances contradictoires [FAR 95]. Les skunk work permettent de minimiser les contraintes administratives et favoriser en conséquence la rapidité des travaux, tout en préservant aisément la confidentialité. Mais ils accélèrent les dysfonctionnements en sortant les éléments innovateurs et en laissant les moins créatifs dans une structure déjà bureaucratique, et compliquent la réappropriation des produits créés, les connaissances acquises par l'expérience étant moins aisément transmises. Les recherches sur ces groupes font état de bilans mitigés des projets. Elles visent en particulier à caractériser des activités et des types de skunk work pour discerner des situations propices [BRO 04]. Le manque de résultats opératoires explique les attitudes diverses des hélicoptéristes. Sikorsky a installé l'équipe du projet X2 en dehors de la structure mère pour favoriser les idées en rupture avec ses conceptions classiques [SIK 09], mais Eurocopter préfère conserver son unité.

La conservation des activités innovantes à l'intérieur de la structure induit leur répartition entre les acteurs traditionnels. La structure suivant la stratégie, comme le pied gauche le pied droit [CHA 62], cette répartition est fonction du sens des missions qui sont confiées aux différents départements. Les activités innovantes se distinguent de celles de recherche ou des activités classiques par la maturité des technologies impliquées et la radicalité des changements à concevoir. En effet, d'une part l'innovation a une finalité économique peu existante pour la recherche, comme le rappelle l'expression courante « la recherche a pour but de transformer l'argent en idée tandis que l'innovation cherche à transformer les idées en argent ». D'autre part, les ruptures technologiques ont peu de chances d'aboutir dans les conditions régulières de travail. Des études montrent en effet que les habitudes sont très difficiles à remettre en cause car des réticences apparaissent dès que les changements se traduisent par des réajustements dans l'organisation [FOS 09].

Entre l'isolement de groupe dédiés et la fonte des activités à l'intérieur de la structure une solution intermédiaire satisfaisante apparaît dès lors souvent comme le détachement temporaire d'acteurs, soutenus dans leur démarche pour mieux sortir de leurs zones de confort. La figure 80 ci-après illustre ce fonctionnement. Cette solution a été en particulier retenue par Eurocopter. Des acteurs issus de divers départements, regroupés autour de projet d'innovations, sont momentanément soustraits à leur hiérarchie pour être plus apte à réagir. Ils sont accompagnés pour gérer des problèmes hors de leurs compétences habituelles (évaluation économique...), mais restent attachés à leur département d'origine pour y transmettre leur expérience acquise.

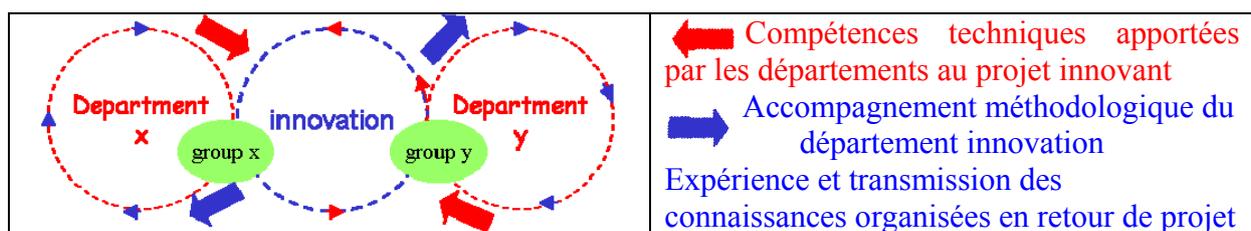


Figure 81 : Illustration du fonctionnement du département Innovation

La conduite simultanée de projets crée une émulation vivifiante mais le traitement préférentiel des équipes détachées fausse l'appréciation de leurs performances et conduisent à des rivalités détruisant les bénéfices gagnés. Il devient alors délicat de conclure sur l'intérêt d'avoir opté pour un type de fonctionnement dans la structure plutôt qu'un autre. Par contre il est possible d'établir un lien entre ce fonctionnement et les projets ayant le plus de chances d'aboutir, selon qu'ils traduisent les volontés de la direction ou émanent d'esprits rebelles. [BRO 04].

6.2.2 Influence de l'organisation

La quasi-totalité des projets conduits par le département Innovation ont été en retard par rapport à leur planification initiale. Ces retards résultent pour 5% de lenteurs de procédure interne (disponibilité de matière, de moyens d'essais, créneau de tests en vol...). 15% des projets ont été freiné par des divergences entre les équipes détachées et leurs départements d'origine (solution technique critiquée, logique du projet remise en cause...). 30% ont été retardés par des procédures achat (enregistrement des partenaires, négociations des contrats, des accords de confidentialité...). Mais la majorité a été retardée pour des raisons de non disponibilité des acteurs. Que ce soient pour des causes de surcharge ou par manque de motivation, l'argument du manque de temps a été invoqué dans plus d'un projet sur deux pour justifier l'absence d'avancée. Les acteurs ne discernent pas les tâches prioritaires sur lesquelles se concentrer. L'organisation, c'est-à-dire le schéma de répartition des tâches et des décisions d'actions, apparait ainsi contre productive

Une explication de ce non-sens tient au nombre d'acteurs trop élevé dans la boucle de création. Divers niveaux hiérarchiques s'invitent dans les projets pour vérifier la cohérence des actions avec leurs propres objectifs. Si leurs remarques sont pertinentes elles ne sont pas toujours appropriées aux projets qu'ils ne connaissent que dans les grandes lignes. En influençant chacun les décisions du projet selon des intérêts divers, ils génèrent de la confusion et la multiplication des principes étouffent les forces d'innovation [NUN 07]. De plus, les procédures classiques finissent par formater les relations. Les perceptions des initiatives s'en trouvent faussées et la réactivité réduite.

Pour réduire les lenteurs administratives, deux approches se distinguent : la première est méthodologique. Elle consiste à rechercher une structure et des outils appropriés pour améliorer l'efficacité des démarches à toutes les phases de la conception [ROO 95]. La seconde replace l'individu dans la boucle créative pour mieux répondre à ses besoins et l'invite à développer sa créativité []. Ces approches ne s'excluent nullement et sont même complémentaires. Le suivi des projets au sein du département Innovation incite à mettre l'accent sur la seconde. Aucun type d'organisation ne se dégage comme remarquable pour l'innovation. Les outils méthodologiques se sont souvent avérés lourds à mettre en œuvre, nécessitant le recours à des consultants spécialisés ou à des bases de données externes délicates d'accès. Par contre, la prise en compte des préoccupations individuelles des acteurs s'est imposée comme source de motivation remarquable pour soutenir les efforts des acteurs impliqués dans les divers projets.

Pour être favorisée l'innovation demande avant tout d'être libérée de la bureaucratie. De multiples auteurs analysent les raisons des fossés entre les décisions et les actions [PFE 01]. De manière générale, ils s'accordent à promouvoir l'abandon des recherches procédurales ou méthodologiques au profit d'approches basées sur les individus eux-mêmes. Les modèles d'organisation de l'innovation évoluent. Après avoir été centrée sur l'entrepreneuriat par Schumpeter, l'intégration de la conception, puis l'ingénierie concurrente [MID 97], ils ont tendance actuellement à changer de nature pour dissocier créativité et structure [NUN 07]. Basé sur le constat qu'aucune organisation aussi bien pensée soit elle ne suffit à générer des comportements, ils insistent à veiller à donner du sens pour encourager les acteurs à innover. La communication des orientations stratégiques et la priorisation des actions jouent ainsi un rôle majeur.

L'innovation améliore le mécanisme qui permet à une entreprise d'acquérir un avantage compétitif à partir de ses ressources organisationnelles ou matérielles [TEE 97]. En retour, le mécanisme de gestion de ses ressources favorise l'innovation s'il est centré sur les individus pour donner du sens à leurs actes. Les schémas d'organisation « en silo » reproduisant l'organisation hiérarchique pour organiser les échanges freinent les innovations en imposant des décisions prises à des niveaux inappropriés. Les schémas d'organisation centrés sur les individus et leur motivations se dégagent de la structure pour encourager des pensées non conformistes favoriser les actions créatrices et conduire à des ruptures technologiques.

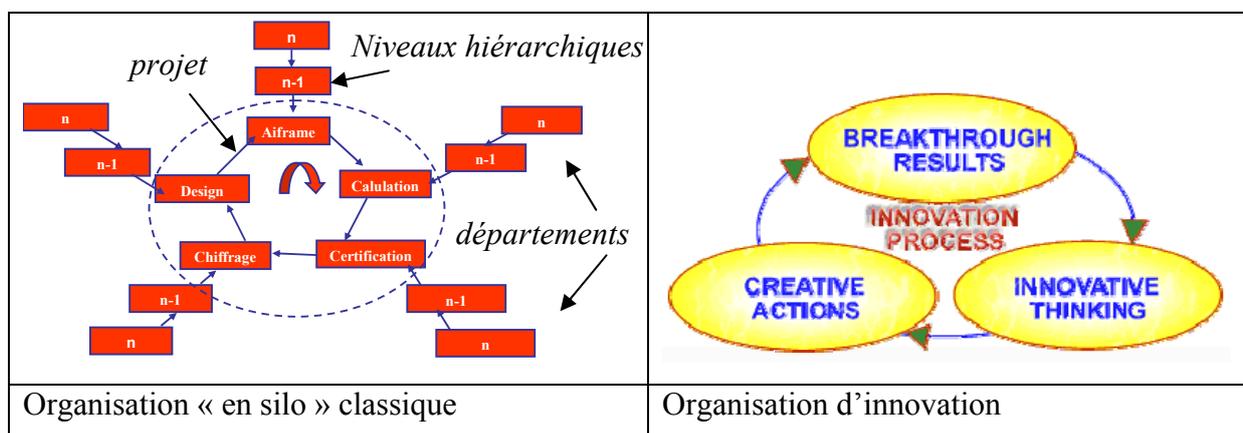


Figure 82 : Schémas organisationnels

Cette thèse retient que l'innovation ne résulte pas de procédures remarquables mais reste le fait d'individus, encouragés par un environnement adapté à leur besoins Elle propose (chapitre 7) en conséquence la création d'un espace d'échanges, propice à la confrontation d'idées et au renfort des liens entre les individus et l'entreprise, pour encourager et accompagner les volontés de changements.

6.3 Culture d'innovation

Depuis la création du département Innovation en 2006, plus de 650 idées de projets ont été suggérées, dont plus de 300 la première année. Le rythme a rapidement décéléré pour se stabiliser à une petite centaine par an dès 2008. Si les chiffres tendent à indiquer une contribution constante, ils masquent cependant des inégalités de participation. Ce paragraphe a pour objectif de cerner les profils des innovateurs pour mieux les détecter

Note préalable : l'étude statistique réalisée dans le but de caractériser les innovateurs employés par Eurocopter entre janvier 1990 et juin 2011 a été limitée par l'absence de base de données. L'incomplétude des bases de données ont permis de dégager des tendances sans autoriser à citer des chiffres exacts. Les données trop confidentielles sont réservés à l'usage d'Eurocopter et ne sont pas présentées dans ce mémoire.

6.3.1 Profil des innovateurs

Ces vingt dernières années, plus d'un millier de brevets ont été déposés en France par Eurocopter. La moyenne de soixante dépôts par an tend à augmenter pour atteindre la centaine en 2010. Cette augmentation est la conséquence d'un changement de politique qui a introduit la production de brevet dans les résultats individuels et aboutit à la création d'un département innovation. Cette augmentation reflète la volonté d'innovation de la direction, mais masquent les efforts véritables déployés pour la satisfaire. La participation a été très inégalement répartie entre le millier de personnes employées annuellement par le bureau d'études français sur cette période. Depuis 1990, seulement 514 inventeurs ont été enregistré. 71 personnes ont assuré la moitié des brevets et 25 seulement contribuent à déposer le quart. Le dépôt de brevet n'est pas un acte unique : en moyenne un breveteur en dépose trois. Par ailleurs, en cinq années d'existence, le département innovation a enregistré environ 600 propositions de projets, mais seulement 176 personnes y ont contribué. Enfin, la presque totalité du groupe des 71 inventeurs est inclus dans celui des innovateurs. Ceux qui ne participent pas sont à des niveaux hiérarchiques trop élevés pour avoir le temps de le faire, ou ne font pas partie du bureau d'études. De formation technique, ils sont capables d'imaginer des solutions pratique contournant les difficultés auxquelles ils sont confronté mais ne sont pas employés pour les développer. Il existe donc un « profil » d'acteurs motivés par l'innovation.

Dans les années 90, la moyenne d'âge des breveteurs avoisinait la cinquantaine. Les brevets déposés étaient le fruit de longues années d'expérience dans leur activité. Actuellement le

dépôt de brevet s'est répandu. La moyenne d'âge se rapproche de la trentaine. Ils déposent à l'occasion d'une prise d'activité sur un nouveau projet pour laquelle ils ont dû réaliser un état de l'art existant. La valorisation du dépôt de brevet par les RH les encourage en promouvant leur avancement. A qualité égale par ailleurs, le dépôt de brevets sert enfin à se distinguer lors de l'embauche, car c'est un témoin objectif de qualités créatives.

Si la moyenne d'âge évolue, ce n'est pas le cas du statut professionnel. Les créateurs (breveteurs ou innovateurs) sont le plus souvent cadres, issus d'écoles d'ingénieurs. Il n'est pas possible d'exprimer le pourcentage de ceux ayant vécu à l'étranger, tous n'ayant pas été joignables. Les données collectées semblent cependant témoigner d'un intérêt pour la découverte de nouveaux pays, à travers des voyages au moins.

Un fait remarquable est l'implication des créateurs dans les activités extraprofessionnelles. Ils sont en moyenne cinq fois plus nombreux à être inscrits pour une activité que les autres employés du bureau d'études. Les loisirs aéronautiques (modélismes, parapente, planeur, avion ou hélicoptère) sont les plus fréquents. Si la culture générale aéronautique n'est pas gage de créativité, elle apparaît nécessaire. L'attrait personnel pour le domaine aéronautique semble ainsi être un trait partagé par la majorité des créateurs. Cette constatation est appuyée par le fait que plus d'une dizaine d'ancien inventeurs, bien que retraités, continuent à déposer des brevets pour Eurocopter.

Ces statistiques ne permettent pas de dégager un profil caractéristique en vue de cibler à l'embauche des futurs créateurs. Cependant, la concentration de l'activité créatrice par un petit groupe d'individus autorise à individualiser les actions pour favoriser l'innovation. Seuls 16 des 25 inventeurs ayant déposé un quart des brevets étant toujours en activités, les préoccupations d'Eurocopter pour maintenir la participation devraient être orientées vers le contrôle du turnover des employés prolifiques, autant que vers l'attrait de nouveaux talents.

6.3.2 Indicateurs d'innovation

Formatés par des voies d'apprentissages communes (en France les grandes écoles de commerce et d'ingénieurs) les leaders gèrent plus qu'ils ne gouvernent. Cette tendance est renforcée ces dernières années par leur interchangeabilité [HBR n° 132]. La qualité des informations remontées (complétude, transparence, rapidité...) par les indicateurs conditionne l'efficacité des décisions qui contribuent ainsi à former l'esprit d'innovation de l'entreprise.

En premier lieu, la hiérarchie est peu composée d'hommes du métier. Elle a besoin d'indicateurs pour suivre les avancées des projets d'innovation. Les présentations de projet au travers d'indicateurs semblent ainsi l'emporter sur l'exposé des travaux. Cela induit une tentation de gérer les projets pour satisfaire à l'attente des indications à remonter plutôt que dans leur intérêt, au moins pour mieux valoriser la qualité du travail. En second lieu, les indicateurs quels que soient, servent certes à rendre compte, mais ils encouragent en même temps des types de comportements. Par exemple, rendre compte de l'activité innovante en quantifiant les bénéfices financiers tend à favoriser projets incrémentaux au détriment des innovations de rupture, souvent plus long à rencontrer leur marché. Ainsi, les indicateurs valorisent le respect d'objectifs programmés, qu'ils aient été judicieux ou non.

Les indicateurs choisis par Eurocopter pour rendre compte de l'activité du département Innovation sont actuellement tous quantitatifs. Le nombre d'idées collectées (une centaine par an) les taux de succès des différentes étapes du processus et les gains générés justifient l'existence du département. La moitié des 650 idées ont été écartées dès la première présentation, les deux tiers abandonnées dès la sortie d'incubation, mais deux tiers des idées restantes ont été validées par un démonstrateur. Au final, seul 11% des idées présentées sont transformables en produits commercialisables (taux de succès en QG3 = $49\% \times 37\% \times 62\% = 11\%$) et généreront plusieurs millions d'euros quand elles seront mises sur le marché.

Ce choix d'indicateurs rassure en imposant un solde comptable positif. En revanche, il n'est pas utile pour la gestion des innovations. Il ne tient pas compte par exemple de la satisfaction des « clients » (les programmes qui intègrent les produits dans leurs appareils, ou les utilisateurs finaux par exemple ou simplement les innovateurs proposant des idées). Des indicateurs qualitatifs permettraient d'ajuster les actions. Les démarches qualité contribuent ainsi à stimuler l'innovation. Au-delà des indicateurs, c'est la cohérence des informations remontées à travers l'entreprise qui témoignent d'une activité et d'un état d'esprit

Conclusion

A l'obsession de l'avancée paramétrique des produits pour aller plus haut, plus vite, plus loin a succédé l'obsession industrielle de produire plus, moins cher et de meilleure qualité. L'industrie hélicoptériste reste dominée par la volonté de performance et l'innovation n'y échappe pas. La mise en œuvre d'un processus par étapes, la valorisation des bénéfices financiers dans les critères de sélection et le choix d'indicateurs de résultats quantitatifs témoignent d'une vision économique de l'innovation.

Les outils quantitatifs permettent la comparaison objective de résultats comptables enregistrés par les différents départements. Au-delà des préoccupations gestionnaires, c'est un état d'esprit qui transparait : l'émulation est le levier retenu pour encourager les équipes à devenir plus innovantes. La création d'un département Innovation installe dans la structure un acteur organisant la compétition. Si les projets innovants sont forcés par cette démarche, les aspirations des innovateurs sont par contre délaissées. Au final, les volontés d'innovations sont en revanche relayées au second plan. A court terme, les résultats peuvent être satisfaisants, mais sur le long terme, cette thèse doute des succès. Forcer les équipes à questionner leurs habitudes en les confrontant au succès obtenus par d'autres est certes vivifiant mais également dévalorisant. Or la motivation est plus encouragée par le succès que par la peur de l'échec. Cette thèse suggère ainsi pour créer des conditions plus propices à l'innovation, de compléter le processus actuel par des outils centrés sur les besoins des individus eux-mêmes, pour accompagner les ambitions personnelles et renforcer les liens avec l'entreprise.

7. Propositions

Introduction

Ce chapitre présente des propositions concrètes d'actions pour déployer l'action du département Innovation d'Eurocopter. Les premières s'appuient sur les points clés favorables à l'innovation pour faciliter la gestion des projets, les secondes résultent de la sélection de thèmes de développements jugés les plus prometteurs.

7.1 Propositions méthodologiques

7.1.1 Guide d'accompagnement pour la préparation de projets

L'analyse des projets d'innovation (chapitre 5) a fait apparaître de fréquentes périodes de crises et le rôle destructeur des conflits. Pour les minimiser, une proposition est de préparer le cadre des inéluctables renégociations et de donner du sens aux engagements de chacun. Il est pour cela nécessaire d'avoir saisi les enjeux du projet et les intérêts qui le motivent. Le guide ci après a pour objectif d'accompagner les innovateurs pendant la préparation de leur projet pour les aider à dégager les éléments essentiels permettant de justifier clairement de l'existence de leur projet et de l'intérêt des actions qui y seront conduites.

Déterminer les avantages concurrentiels (la valeur apportée au client et à l'entreprise)
Déduire les objectifs techniques à atteindre et les justes prix
Evaluer l'intérêt financier (approximation du marché)
Déterminer les limites dans lesquelles les objectifs et les prix restent acceptables
Identifier les verrous technologiques pour décomposer le projet en étapes.
Identifier les tâches non spécifiques. Préciser les arguments d'externalisation, de répartition des rôles et responsabilités pour faire ressortir la logique et l'intérêt du montage partenarial
Evaluer les moyens, les ressources humaines matérielles et immatérielles nécessaires, celles possédées par les partenaires et leurs ambitions (guidé par la méthode RPV)
Quantifier les efforts temps coût, hommes, ressources, investissement
Mettre les investissements au regard des gains pour faire ressortir le différencie
Identifier les risques et actions correctives
Prioriser les objectifs et construire une échelle de valorisation des actions
Synthétiser les objectifs, les intérêts et la logique du montage partenarial et construire une ébauche de Business Case pour visualiser les éléments clés du projet

Figure 83 : Grandes étapes de la préparation d'un projet

7.1.2 Méthode de gestion de la sécurité

Cette thèse propose d'élaborer les mesures de sécurité des projets d'innovation selon une perspective culturelle, c'est-à-dire orientée vers l'adéquation des comportements. Les principes d'« isolement » et de « contrôle » traditionnels sont remplacés par ceux de « responsabilité et de « coordination ». L'attention est portée sur les actions de délégation et centralisation plus que sur l'analyse des flux entrants et sortants du projet. Les mesures visent désormais à fournir aux acteurs des références pour guider leur comportement plutôt qu'à prévoir les contrôle en amont et aval du projet. Ce mode d'organisation non programmée de la sécurité répond à l'incertitude et au périmètre variable des projets, perturbés par des événements imprévus. La figure 76 ci –après illustre le changement d'approche.

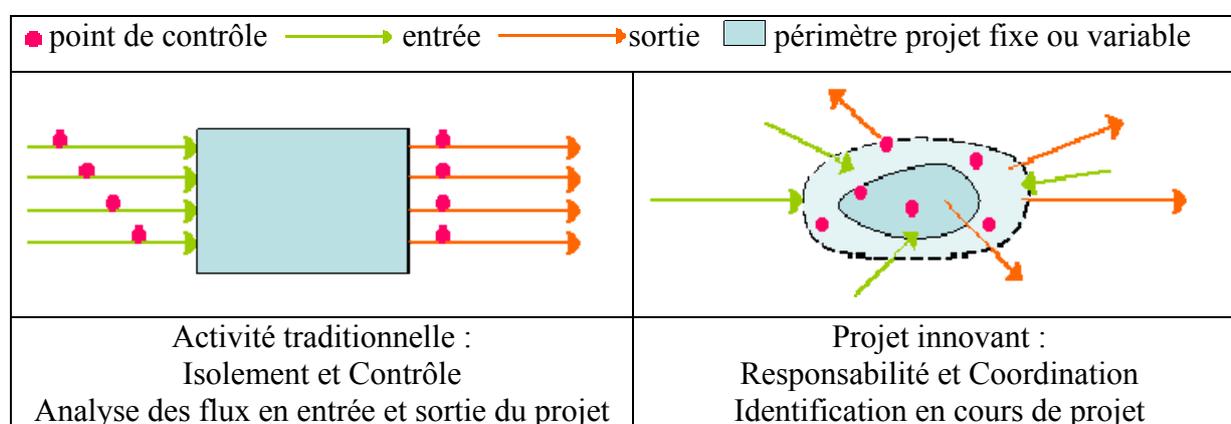


Figure 84 : Représentation des actions sécuritaires

Pratiquement, la proposition d'approche consiste à adjoindre aux traditionnelle mesures de sécurités un code de conduite, de rédiger les mesures de manière à répondre aux spécificités des projets innovant, et d'organiser leur déploiement selon une double boucle plutôt que selon la classique architecture hiérarchique. Dans un premier temps, un code de conduite précisant les valeurs et les règles de priorité de l'entreprise est présenté aux acteurs. Il fixe l'équilibre entre leurs droits et devoirs et les attentes sécuritaires pour leur permettre de réagir au mieux face à une situation inattendue. Dans un sens elle soutient les efforts de sécurisation en rappelant leur intérêt, de l'autre elle limite leurs effets en les plaçant derrière d'autres principes et évite l'enfreinte des règles « pour la bonne cause ». Par exemple, si la valeur phare d'une entreprise est le respect des engagements, il précise les limites à l'intérieur desquelles il est souhaitable de résister à la pression de tenue des délais. Dans un second temps, les mesures de sécurité précisant les conditions de travail (modalités d'échanges, conditions d'accès par exemple) et identifiant les moyens à mettre en œuvre sont rédigées pour justifier d'une « bonne attitude ».

- Les acteurs n'étant pas catégorisables, *les mesures sont personnalisées* : elles précisent les règles d'octroi de droit et de dérogations plutôt que des jeux de règles prédéfinies.
- Les conditions matérielles évoluant, *les mesures organisent la stabilité des engagements* pour éviter les dilutions des responsabilités.
- La mixité d'informations étant souhaitable, *les autorisations d'accès sont déléguées à des «sachants»* capable d'évaluer la pertinence des demandes.
- la sensibilité des activités étant variables, *les mesures sont adaptables et corrigeables en cours de projet* : à la variabilité des risques correspond une variabilité des décisions.
- Les partenariats étant centraux, *les mesures comprennent la sécurisation contractuelle* en prévoyant par exemple des cadres aux partages de propriété intellectuelle.
- Les appréciations de la criticité et de la sensibilité des situations étant relative, *les mesures précisent les marges d'interprétations*

Enfin, la mise en œuvre de ces mesures, est organisée selon une double boucle: Les flux (d'informations de matériels,...) ne sont plus examinés directement en entrée ou sortie mais en cours de projet : Les intervenant sont distingués en quatre catégories et deux chaînes informationnelles sont créées pour réagir aux flux constatés. Les quatre catégories distinguent les responsables (en charge de la gestion des ressources et de l'atteinte des objectifs du projet), les correspondants projet ou « sachant » (chargés de l'opérationnalisation des intentions exprimés par les responsables), le correspondant sécurité (chargé de la définition et de l'application des mesures et moyens de sécurité) et enfin les intervenants (tous les autres acteurs). La première chaîne relie les correspondants sécurité et projets aux responsables, la seconde les relie aux acteurs. La première chaîne a pour intérêt d'évaluer les variations de sensibilités et de périmètre du projet pour harmoniser les niveaux de sécurité aux diverses activités. La seconde gère au quotidien les demandes des acteurs. L'intérêt est de limiter les temps d'analyse et contrôle des besoins, en organisant deux panels d'interlocuteurs capables de statuer immédiatement, les responsables pour allouer les ressources nécessaires, les correspondants projet pour valider le bien fondé des actions.

Ainsi les démarches du correspondant sécurité sont facilitées car il peut construire une vision cohérente de l'ensemble des activités du projet en ne contactant qu'un petit nombre d'acteurs (les responsables et les correspondants projets), et les échanges sont organisés au bon niveau hiérarchique. Les démarches de tous les acteurs sont facilitées, car ils expriment leurs besoins

aux correspondants projets qui statuent et ne signalent qu'à titre informatif leurs mouvements au correspondant sécurité. L'échange entre les correspondants projet et sécurité est transparent pour les utilisateurs pour rester efficace.

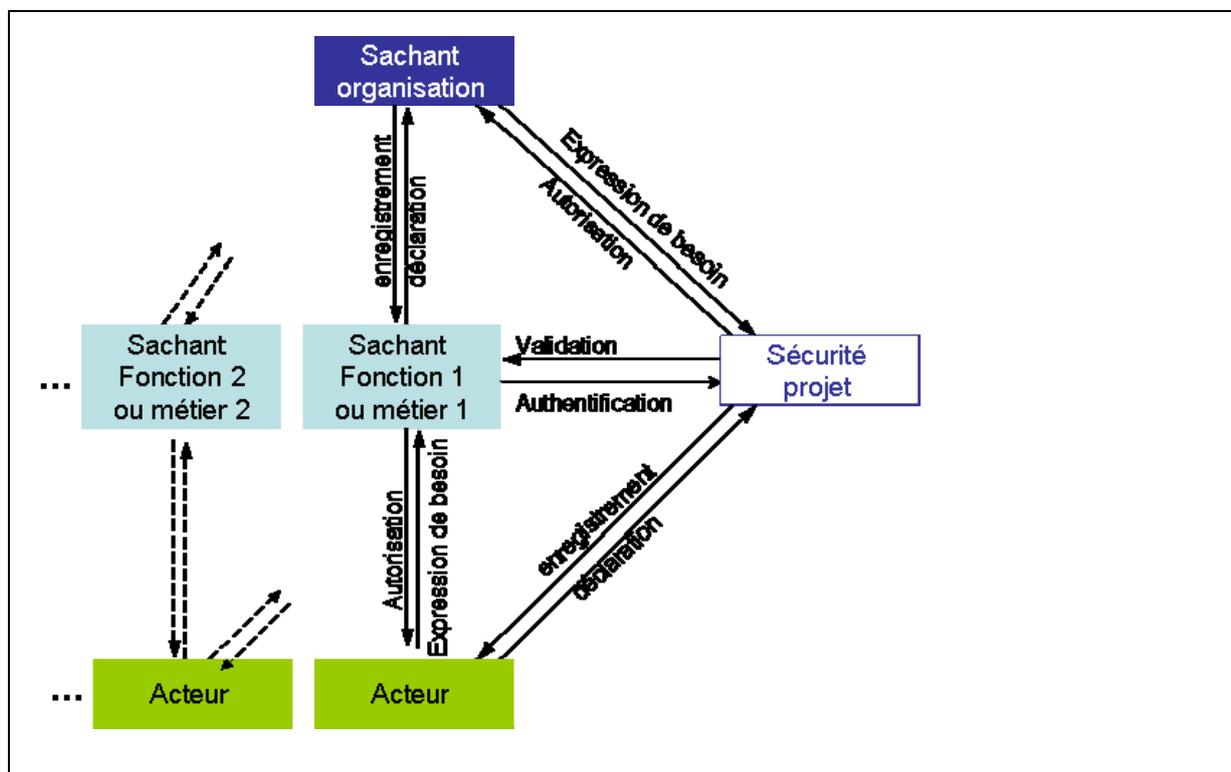


Figure 85 : Schématisation de l'organisation sécuritaire

Ainsi les flux sont régulés de manière cohérente sur l'ensemble du projet. de plus, chaque correspondant partage l'activité (dans sa fonction ou dans son métier) avec ceux qui ont des raisons de lui adresser une demande, il connaît déjà leur environnement et peut se concentrer sur leurs besoins particuliers. Les procédures d'authentification et de validation des flux sont facilitées car elles sont réalisées entre des correspondants ayant connaissance de toutes les informations nécessaires pour prendre les décisions: une vision pertinente et complète de l'activité du demandeur pour le correspondant projet, une vision globale des moyens et des autres secteurs d'activité pour le correspondant sécurité. Cette organisation est enfin efficace qu'elle est flexible : le projet étant découpé, les modalités d'échanges entre les correspondants et les intervenants peuvent être différenciées

7.1.3 Outils de développement de la créativité : centre culturel d'innovation

71 personnes seulement contribuent à déposer la moitié des brevets d'Eurocopter. Cette thèse propose de se concentrer sur ces inventeurs pour développer l'innovation, plutôt que de chercher des méthodes destinés à la globalité des employés. Puisque les retours d'expérience ont mis en avant leur forte culture aéronautique, la proposition consiste à créer un centre rassemblant tous les matériels susceptibles de nourrir leur passion.

Le centre est une plateforme réunissant des informations de la propriété intellectuelle (base de brevets, analyse de portefeuille), de la stratégie (produits des concurrents, priorités de l'entreprise), des informations techniques (ouvrages, travaux universitaires, publications techniques aéronautiques et d'autres industries), du marketing (évolution des demandes, retours des clients) par exemple. Il expose des réalisations pour communiquer l'envie de créer. Ce faisant, il reconnaît les efforts et les compétences des personnels et les valorisent. . Ce centre est ainsi destiné à entretenir les connaissances des inventeurs déjà connus, à susciter la curiosité pour encourager de potentiels innovateurs, et à renforcer le lien entre les employés et l'entreprise de manière plus générale.

Le centre entretient un contexte favorable à l'innovation en soutenant les personnes ayant démontré leur intention de créer. Encourager l'innovation relève du maintien d'un état d'esprit et non d'une implémentation de procédures ou méthodes.

7.2 Propositions d'innovations

Pour saisir le sens d'évolution des marchés, il est nécessaire de questionner l'impact des nouvelles technologies qui apparaissent, car elles transforment non seulement le contexte industriel, en modifiant l'importance relative des entreprises, mais elles bousculent également les perceptions et les attentes des consommateurs. Parmi les quatre évolutions technologiques repérées actuellement (les biotechnologies, les nanotechnologies, les nouvelles sources de productions d'énergie et la robotisation), la robotisation est celle qui est retenue pour impacter le plus sensiblement l'industrie hélicoptériste. (Une étude justifiant ce choix est présentée en annexe). Historiquement, la robotisation a débuté dans l'industrie hélicoptéristes par une assistance mécanique aux pilotes en cas de panne, puis le concept de pilote automatique s'est développé. Lorsque leur autonomie sera suffisante, c'est-à-dire que les hélicoptères avec ou sans passagers pourront gérer les vols seuls, ils seront devenus des « drones ». Les drones sont des robots capables de vol. Ils nécessitent une autonomie minimale pour gérer l'imprévisibilité des conditions de vol. Cette thèse retient le développement de drone comme étant piste d'innovation prioritaire.

D'une part les réticences des consommateurs s'estompent, au fur et à mesure que les applications s'installent dans le quotidien, à travers la domotique, ou les transports citadins par exemple (métro sans pilote, créneau automatique...). D'autre part la robotisation est inéluctable car les progrès qu'elle entraîne sont trop conséquents (diminution voire disparition de la charge du pilote, gestion des pannes, extension du domaine de vol...). Enfin, les concurrents ont déjà investi ce marché. Les constructeurs américains sont les plus avancés car ils bénéficient de crédits de recherche de leur armée. Sikorsky a investi dans cette voie 1B\$ en 2009, en particulier pour autonomiser son Black Hawk. La maturité technologique est suffisante, la commercialisation des produits possible et la compétition a été initié par les concurrents : Eurocopter qui n'a aucune offre est donc en retard sur ce segment.



Figure 86 : Exemples de drones

A défaut de financement militaire, il s'agit pour dès lors d'identifier un premier client « prêt-à-payer » pour garantir ses investissements. Les analyses de marché classiques montrent que les drones sont particulièrement bien adaptés aux missions dites 3D, acronymes de « Dull – Dirty – Dangerous ». Les missions «Dull», répétitives, sont particulièrement adaptées aux opérations de surveillance (routes, voies ferrées, traces de pollution maritime, pénétration dans les eaux nationales par exemple). Les missions «Dirty», en milieu inhospitaliers, viennent ensuite car elles nécessitent la gestion d'équipement supplémentaires en réponse aux conditions particulières dans lesquelles elles sont exécutées.(mesures de seuil de pollution critique livraisons de matériels en zones contaminées, prélèvements de gaz par exemple) Les missions «Dangerous» sont enfin celles pouvant conduire à la perte physique de l'appareil.(exploration de zones à risques, présence de tireurs lors de prise d'otage par exemple). Cette thèse propose pour identifier un client de se focaliser non pas sur ses missions mais sur l'avantage qui provoquera son achat Les clients peuvent être répartis en deux groupes, qualifiés de 2D « Dependant – Dominant ». Les premiers souhaite acquérir un drone parce qu'il est le seul moyen d'effectuer une mission inenvisageable sans lui (visite d'un immeuble en feu, apport de matériel de survie en zone inaccessible). Les seconds (Dominant) recherche un avantage compétitif pour se différencier sur leur marché (diminution des coûts, augmentation de la disponibilité, ...).

3D	Missions	Dull Dirty Dangerous
2D	Clients	Dependant Dominant

Figure 87 : Critères d'intérêts de la robotisation

Les clients militaires n'étant pas disposés à investir actuellement en Europe, cette thèse identifie les compagnies maritimes et les acquéreurs d'appareils VIP comme premiers clients possibles. Les compagnies maritime ont la surface financières pour entreprendre le co-développement d'un drone, La robotisation peut offrir des fonctionnalités s'apparentant aux luxe et au confort pour les transports VIP. Cette thèse propose enfin un alternative pour débiter les travaux sur ce marché sans attendre de clients : concevoir un système couplant des drones légers déjà existant aux hélicoptères pour être visible rapidement sur le marché des appareils robotisés, fussent-ils de petites taille. A défaut de faire partie du cœur de métier, ils permettent de développer à moindre frais les premières briques de programme récupérables pour des appareils plus puissants.

7.2.1 Proposition d'un brevet : couple hélicoptère mère – drone détachable

L'invention concerne un dispositif de largage et récupération d'un drone à partir d'un hélicoptère en vol, dans le but d'opérer une mission à l'aide des deux engins. Le mode coopératif est intéressant car les deux types d'engins sont complémentaires les hélicoptères possèdent une grande autonomie mais sont volumineux, chers et soumis à des contraintes de navigation visant à assurer la sécurité des passagers, les drones sont peu autonomes mais leur prix est très inférieur et ils peuvent être considérés comme jetables si leur récupération n'est pas indispensable. L'intérêt de les opérer simultanément est de déporter des moyens embarqués à bord de l'hélicoptère au plus près d'une zone inaccessible à l'hélicoptère, par exemple pour des raisons de sécurité des personnes embarquées (relief, contamination chimiques, bactériologiques, radiatives...). Le problème majeur est d'assurer la trajectoire dans la zone du souffle rotor pour d'opérer le largage et la récupération du drone à partir de l'hélicoptère en éliminant les risques de collisions entre les deux engins. Ce problème vient du fait que l'hélicoptère génère un souffle rotor qui perturbe grandement les conditions aérodynamiques à l'intérieur d'une zone d'une hauteur d'environ trois diamètres rotor en dessous de l'appareil. Plus les appareils sont légers plus leur trajectoire de vol est incertaine dans cette zone. Les drones sont des appareils légers donc difficilement pilotable dans cette zone pour leur approche. L'invention se présente sous la forme d'un dispositif, fixé à l'extrémité d'un câble. Le dispositif, de forme conique, est constitué à une extrémité par une plaque aimantée, à l'autre extrémité par une couronne circulaire rigide. Il est contenu le drone qu'il positionne en dessous de la zone de perturbation pour être largué ou récupéré.

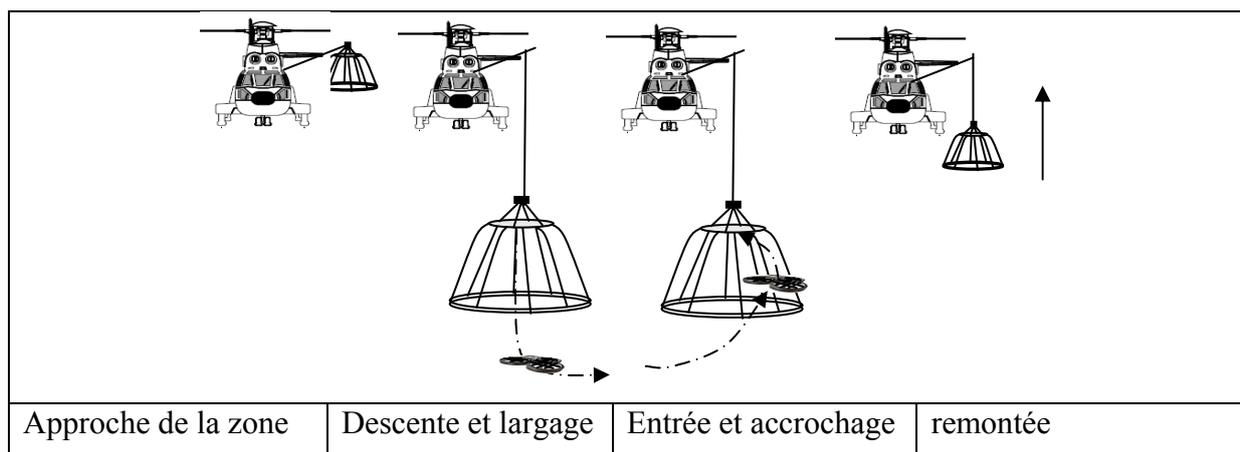


Figure 88 : Principe de fonctionnement de l'invention

7.2.2 Proposition de programmes : OPV maritime et hélicoptère de luxe.

Il existe trois manières d'entreprendre la robotisation d'un hélicoptère. La première consiste à l'autonomiser partiellement. Il devient « intelligents » car capable d'assister le pilote, en

contrôlant partiellement la navigation, les équipements de mission ou les communications, grâce à des éléments plus sophistiqués de son système avionique. La seconde est de l'autonomiser totalement tout en le laissant pilotable occasionnellement. Souvent désignés par le sigle « OPV » (Optionally Piloted Vehicle), il passe de 1 à 0 pilote. Quand les hélicoptères les plus intelligents passent de 2 à 1 pilote. La troisième consiste à concevoir un appareil dont l'architecture est optimisée pour le pilotage sans pilote. Ils opèrent souvent comme relai dans des ensembles de machines (interopérabilité).

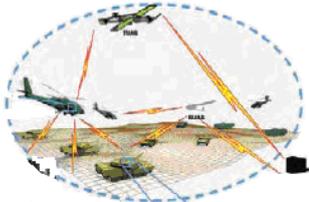
		
<p>Automatisation partielle (EC 155)</p>	<p>Pilotage occasionnel (Boeing OH-6 « little bird »)</p>	<p>Interopérabilité</p>

Figure 89 : Pistes de robotisation d'hélicoptères

- **OPV Maritime**

Cette thèse retient les OPV comme étant la piste d'innovation la plus prometteuse pour l'avenir, les missions de surveillance et de cargo étant amenées à être les plus développées dans un avenir proche, mais l'espace aérien n'étant pas encore prêt pour des appareils totalement robotisés. La proposition est d'équiper les compagnies maritimes, car leur environnement est le plus propice aux missions de cargo et de surveillance (dans le monde 90% du fret est transporté par voie maritime) et que ces clients ont une surface financière suffisante pour passer commande. Certaines sont de taille comparable à Eurocopter, à l'instar de la compagnie marseillaise CMA-CGM, qui emploie 16000 personnes pour un chiffre d'affaire avoisinant les 8 Milliards d'euros. Quatre missions semblent pouvoir justifier un achat : la surveillance de la piraterie, l'aide à la navigation, le ravitaillement de plateformes et l'évacuation d'urgence. L'emport d'un OPV offre une protection lors de traversée de zones à risques (au large de la Somalie ou le navire cargo Hyundai Kia a été attaqué en 2008 par exemple). La cargaison est sous responsabilité de l'affréteur dès la sortie du port. Par ailleurs un OPV peut aider à la navigation en surveillant au plus près les routes polaires pour les ouvrir sur des périodes de temps plus étendues. Très avantageuse économiquement pour les armateurs, elles imposent aux navires non spécialisés une surveillance de la formation de glace que les satellites ne surveillent que partiellement. Le vol d'un drone précédent un navire offre aux armateurs la possibilité d'emprunter des raccourcis sans crainte d'être piégés par les conditions climatiques. Enfin les mêmes OPV peuvent servir à s'approcher des plateformes off-shore pour décharger le fret par mer trop agitée quand les navires sont tenus de rester

éloignés pour éviter des collisions. Actuellement le ravitaillement se fait par hélicoptères, capables de voler tout temps, par exemple en mer du nord, sur les plateformes britanniques. Un navire équipé d'un drone en place de grue pour décharger sa cargaison offre l'avantage de cumuler les faibles coûts du transport maritime et l'efficacité tout temps. La surface financière des compagnies maritime les autorise à investir dans un OPV et un équipage pour équiper à souhait un navire ou un autre selon les gains pour sa mission. Une étude marketing a débutée pour quantifier les bénéfices générés par l'absence de pillage, la sécurisation des équipages, l'ouverture de routes plus rentables plus longtemps et les possibilités de transports pour les plateformes.

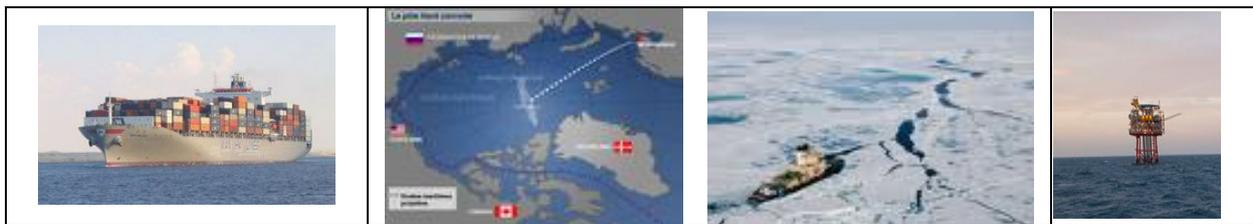


Figure 90 : Illustrations de missions

- ***Hélicoptère intelligent de luxe***

Cette thèse propose enfin de concevoir un hélicoptère intelligent destiné essentiellement au transport de VIP. L'objectif est d'étendre le marché. Il s'agit plus dans ce cas de s'engager dans une piste de développement mais simplement de profiter d'une opportunité de marché. Les clients ayant les moyens potentiel de d'acheter un hélicoptère sont nombreux. Cette thèse pense que les achats sont contrariés par la complexité du pilotage. Quand ce n'est pas la difficulté des concepts techniques à assimiler avant de piloter, le temps d'apprentissage et du maintien des compétences est rédhibitoire à un achat lié au plaisir, comme peu l'être l'achat d'une voiture de luxe par exemple. Plus qu'une simplification du pilotage destinée à soulager des pilotes surchargés, c'est une assistance robotique poussée qui pourrait prendre à sa charge la presque totalité des opérations de vols. Cette thèse pense que lorsqu'un hélicoptère tolérera d'être piloté par des amateurs non chevronnés en toute sécurité, son marché explosera. D'où l'importance accordée à la robotisation parmi les pistes d'innovation possible.

Par ailleurs, les hélicoptères de transport VIP sont actuellement conçus pour des hommes d'affaires, à partir de leurs motivations professionnelles. Cette thèse propose de centrer la conception sur leurs besoins en tant qu'individus. L'intérêt professionnel de recours à un hélicoptère est la rapidité du transport par rapport à un autre moyen, soit par les zones d'emport et de dépose qu'il autorise, soit par sa vitesse. Par contre l'espace cabine n'a pas à

être dédié au travail. Privilégier la sérénité est un moyen de réduire les perturbations du transport et faciliter la reprise d'activité par la suite. Les composants « intelligents », en particulier pour la gestion des communications, la visualisation du vol, et un aménagement de l'architecture intérieure approprié sont des atouts pour développer les ambiances recherchées. Cependant, ce sont les perceptions des clients qui orientent la conception, et non plus les ratios performances techniques – facilité de production industrielle qui les dictent, mêmes si bien sûr ils restent fondamentaux. Pour éviter de tomber dans les travers des conceptions classiques, cette thèse propose de retenir comme client VIP les femmes : voir ou non, dans l'esprit des ingénieurs majoritaires au bureau d'études, elles sont moins sensibles à la technologie, plus exigeantes au niveau confort, en attente de plus de convivialité des équipements, et moins réticentes à exprimer leurs doutes et incompréhension. Quand les échanges avec des « top gun – pilote » sont d'une grande aide aux techniciens pour corriger des dysfonctionnements constatés, l'écoute des besoins clients relève elle d'échange avec des anonymes capables de les verbaliser. Une approche rapide a conduit à envisager un appareil canard (pour la rapidité et le design), reprenant les codes du luxe pour dégager une atmosphère à l'extérieur comme à l'intérieur. Ce sont alors la fois l'architecture de la machine et la méthodologie de conception intégrant les retours de clients atypiques qui sont innovantes. La formation d'un panel de clientes est actuellement en cours.

Conclusion

« Comment favoriser l'innovation dans l'industrie hélicoptériste ? »

L'objectif de l'industriel ayant posé cette question, était de développer sa capacité à innover pour accroître sa compétitivité. L'objectif académique était de formuler dans le contexte particulier de son domaine industriel, les hélicoptères, une expression de l'innovation.

Ces travaux ont été organisés en deux temps. Le premier a consisté à préciser les problématiques, en identifiant les spécificités du contexte. Le second a consisté à les analyser à plusieurs niveaux, macroscopique, détaillé et organisationnel. Tous les travaux se sont appuyés sur des projets réels, conduits pour la plupart dans le département dédié à l'innovation de l'industriel.

La question de l'industriel, comment favoriser l'innovation, ouvre d'une part des champs d'investigations théoriques trop vastes pour être entièrement parcourus et attend d'autre part une réponse pratique, immédiatement applicable, pour satisfaire l'industriel la posant. Les recherches s'étendent aussi bien dans des domaines stratégiques, économiques, sociologiques ou encore relatifs aux sciences de l'ingénieur, sans pouvoir se limiter à un seul. L'innovation est une notion transverse qui se décline aussi bien en répartitions des investissements, en perception de l'évolution du marché ou encore en choix techniques industriels. Pour orienter les travaux de cette thèse, la notion d'innovation a été définie. Pour l'industriel l'innovation est « un processus de transformation d'idée en produits commercialisés qui offrent une valeur ajoutée aux clients ». Dès lors, les recherches ont visé à dégager des conditions favorables à cette transformation, pour répondre au questionnement de l'industriel, et à préciser ce qui les crée pour répondre au problème académique.

- **Caractérisation du contexte**

L'industrie hélicoptériste a été présentée de manière à dégager les pistes d'évolutions dans lesquelles devaient s'inscrire les innovations. Après une décennie relativement calme, la compétition s'est accélérée. Les nouvelles technologies d'informations, les avancées des connaissances aérodynamiques et les nouveaux matériaux ouvrent à l'industrie hélicoptériste des perspectives de développement inexplorables auparavant, et la propulse à un carrefour stratégique de son histoire. L'industrie hélicoptériste est amenée à redéfinir dans un avenir proche son propre cœur de compétences. Les différents concurrents ont des visions variées, certains continuant de privilégier la plateforme mécanique (Oboromprom), d'autre s'orientant

vers les systèmes électroniques embarqués (Boeing) ou se considérant prioritairement comme une industrie de service (Bell). Les logiques industrielles impliquent des choix d'investissements drastiquement différents. Malgré la crise de 2009 les budgets recherches et développement n'ont cessé de croître. Tous les concurrents s'accordent à reconnaître l'importance d'innover, même s'ils ne retiennent pas les mêmes orientations stratégiques. Par ailleurs, la compétition est amenée à être encore d'avantage bouleversée, par l'arrivée de nouveaux compétiteurs issus de pays émergents (la Chine particulièrement) ou d'autres secteurs industriels (robotique en particulier).

De multiples pistes de développement de nouveaux programmes d'hélicoptères sont envisageables. Les principaux objectifs sont la simplicité de pilotage, le respect de l'environnement, la réduction des divers coûts, l'amélioration de la sécurité du vol, ou encore l'amélioration des performances. Ils ne s'excluent pas l'un l'autre, mais la complexité des travaux de conception et la hauteur des frais de développement interdit de les conduire tous simultanément. De nouvelles formules sont également explorées, dans l'architecture mécanique (formule tilt rotor du V22 ou hybride du X3 par exemple) et dans l'architecture système (formule autonome de drone, Boeing Little Bird par exemple).

Afin de déterminer les pistes d'innovations à privilégier, l'industrie hélicoptériste a été caractérisée. Les spécificités identifiées sont autant de contraintes qui incitent à favoriser un objectif au détriment d'un autre, ou orientent les recherches en limitant les actions possibles. Commercialement, l'industrie hélicoptériste est caractérisée par des coûts (achats, exploitation ou maintenance) élevés, de très faible quantité de vente, motivées majoritairement par des nécessités d'usages professionnels et partagées entre un très faible nombre de concurrents (six grands constructeurs en compétition). Industriellement, l'industrie hélicoptériste est soumise à de fréquentes situations monopolistes, expliquées en particulier à la taille réduite de leur marché. Les problématiques de gestion sont essentiellement relatives l'obsolescence des composants. En effet, plus de 2/3 des pièces sont achetées, la plupart intègrent des technologies électroniques évoluant très rapidement alors que les hélicoptères ont une durée de vie dépassant le demi-siècle. Une réglementation sécuritaire exigeant la démonstration de la fiabilité de tous les éléments et des durées d'approvisionnement souvent longs freine les initiatives de conceptions. Technologiquement, l'industrie n'est pas encore mature, dans le sens où les connaissances fondamentales ne sont pas encore suffisantes pour optimiser les hélicoptères pour que leur comportement réponde au mieux à tout type de sollicitations. Les phénomènes vibratoires en particulier sont délicats à maîtriser. La conception est orientée vers des objectifs de réduction de masse, contrariées par la prise en

compte simultanées de contraintes de forte transmission de puissance et de fonctionnement dans des environnements hostiles pour les mécanismes (très chaud, très froid ou corrosifs par exemple). Stratégiquement, l'industrie justifie son existence par sa capacité à intégrer des éléments mécaniques et électroniques de manière à assurer le vol. Mais elle ne peut se contenter de les assembler et doit concevoir pour se créer des avantages compétitifs et garder son marché. Elle peut s'appuyer sur une politique de protection intellectuelle ciblée, les frais de validation imposé par la réglementation dégradant trop fortement d'éventuels profits générés par des contre façons. Enfin, politiquement, une caractéristique de l'industrie est l'implication des acteurs gouvernementaux. Tout d'abord en tant que clients, à travers les forces parapubliques (police, secours, surveillance) mais surtout à travers le volet militaire de l'industrie. Indispensables aux armées, les volontés de supériorité de moyens conduits les états à investir massivement quand ils le peuvent, faussant la concurrence.

- **Analyses et bilans**

Dans ces conditions, les développements de nouveaux produits, programmes, qu'ils s'agissent de programmes (hélicoptères commercialisés) ou de projets (démonstrateur de nouveau concept ou de sous ensembles de composants) sont fortement contraints par les problématiques de coûts. Pour s'en dégager et éviter une compétition frontale financièrement difficile deux stratégies sont envisageables. La première consiste à se différencier pour vendre au client des performances ou services uniques. Les démarches de créativité et les dépôts de brevets sont alors des moyens pratiques de s'assurer d'avantage compétitifs distinctifs. La seconde consiste à repenser l'ensemble du process industriel pour réduire tous les couts qui peuvent l'être. Le contournement de situations monopolistiques, l'importation de techniques industrielles déjà développées dans d'autres secteurs d'activités, l'optimisation des procédures de conception et des outils de production sont alors encouragées.

L'ensemble des programmes (développement d'appareils commercialisés) et des projets (développement de démonstrateurs de nouveaux concept techniques ou de sous ensembles de composants) reflètent ce double objectif stratégique. Ces dernières années, tous souffrent de dérives budgétaires et temporelles. Avant d'être un choix judicieux d'objectifs stratégiques, les moyens les plus efficaces pour favoriser l'innovation apparait dès lors comme ceux qui permettront aux projets d'aboutir, pour garantir des retours financiers aux investisseurs.

Cette thèse s'accorde avec la littérature pour reconnaître trois raisons identifiées à l'origine des dérives des programmes : la sous-estimation des défis technologiques à relever, la complexité des programmes, la faiblesse de la gouvernance. Mais quand les procédures de gestion des risques et de qualité sont souvent invoquées comme les moyens de les réduire, cette thèse ne le pense pas. Ce ne sont ni des prétentions technologiques excessives des constructeurs ni des lacunes dans la gestion des projets qui sont en cause, mais des comportements inappropriés. Relever des défis technologiques demande d'accorder le droit à l'erreur, bénéficier des savoirs d'acteurs extérieurs demande de partager les directions. Le renforcement du leadership n'est pas une question d'autorité et de contrôle, mais plutôt une juste délégation des pouvoirs décisionnels et responsabilités associées. Ces comportements inappropriés se répercutent au niveau des projets en induisant une incoordination des actions. D'une part la confusion des rôles entraîne les acteurs à promouvoir simultanément des objectifs différents, qui s'avèrent parfois contradictoires et les ressources des projets s'en trouvent inutilement consommées. D'autre part cette confusion est source d'incompréhension ralentissant les travaux. Les incertitudes de faisabilité et la subjectivité des critères d'appréciation des risques transforment ces incompréhensions en crises, qui surviennent de manière récurrentes dans les projets très vulnérables à la survenue d'évènements imprévus. Ainsi, favoriser l'aboutissement des projets demande avant tout de privilégier des comportements adéquats. Pour cette thèse soutenir les volontés d'innovation requiert d'engager une démarche culturelle. La précision des concepts de compétitivité, de confidentialité et les valeurs guidant les comportements sont les appuis nécessaires à chacun pour saisir ses marges de manœuvres et d'assurer ainsi l'alignement cohérent des actions sur les projets. Cette mise en avant de la culture est renforcée par le constat qu'il existe un profil particulier des innovateurs. L'organisation, à travers ses critères, ses processus et ses critères d'évaluation de performance, se doit de les protéger de l'inertie structurelle et de les valoriser car ce sont eux qui génèrent en fin de compte les innovations. Si des choix pertinents, des méthodes efficaces, des outils rentables favorisent les innovations aucun n'a jamais rien généré de lui-même.

A un niveau opératoire, les analyses ont révélé des perturbations récurrentes, contrariant les désirs d'innovation. Les dysfonctionnements constatés sont :

- *des décisions prises à de mauvais niveaux.* Si la complexité des projets explique communément les difficultés d'organisation des actions, les défauts d'engagement des acteurs sont apparus liés aux difficultés de gestion des conflits d'intérêt. Soumis à des contraintes paradoxales (objectifs de compétitivité contre nécessité de confidentialité sur un projet,

besoins de reconnaissance contre bénéfiques pour l'entreprise ou encore pour rivalités internes), les acteurs manquent de repères et de priorités pour ajuster leurs comportements. La peur de l'échec l'emporte alors souvent, au dépend de la réactivité et des initiatives dont dépendent les succès des projets d'innovation.

- *de nombreux conflits*. Ils pénalisent les projets en les ralentissant et accroissant d'autant leur budget. Ils résultent autant de décisions inappropriées ou mal comprises que de manque de reconnaissance des efforts consentis. La culture du résultat économique, induite par des indicateurs de performance quantitatifs, génère souvent un climat de compétition vécu comme pression plutôt qu'une émulation qui dégrade les relations entre les acteurs. Les traversées des inévitables périodes de crise n'en sont que compliquées et les issues souvent fatales.

- *un manque de valorisation des compétences techniques*. La problématique de développement de l'innovation est celle de l'appropriation de nouvelles technologies et non une problématique de faisabilité technique. Les difficultés de gestion apparaissent dominantes. La dévalorisation des compétences techniques par rapport aux capacités organisationnelles se traduit par une occultation du droit à l'erreur en phase expérimentale et le développement de sentiments de frustration dans les équipes de conception.

Dans ces conditions, favoriser l'innovation apparaît relever d'encouragements à s'affirmer, en osant prendre des initiatives, en acceptant les différences personnelles, d'intérêt ou de tempérament, et en questionnant ses propres critères d'évaluation. Avant de songer à implanter toute forme de nouvelle mesure, il faut au moins accepter de protéger les intentions créatrices et d'éviter de nuire aux actions engagées. Les propositions pour favoriser un état d'esprit orienté vers l'innovation sont ainsi

- *d'inciter au recours au processus expérimentaux et en tolérer les échecs*, notamment en accordant une place de dialogue formelle pour l'expression des problèmes techniques.

- *de donner du sens aux actions* en affichant des valeurs, des échelles de priorités stratégiques et les critères d'évaluation et de reconnaissance des efforts pour guider les comportements.

- *de remettre les individus au centre de l'entreprise*, car aucune méthode n'a jamais rien générée par elle-même. Donner les moyens aux innovateurs de développer leurs talents et créer des espace de partage pour propager leur état d'esprit dans l'entreprise, accorder une place aux séniors pour transmettre leurs acquis sont autant d'actions allant dans ce sens.

- **Critique des résultats**

Les conditions les plus favorables à la « transformation d'idées en produits offrant une valeur ajoutée aux clients » sont apparues comme celles qui garantissaient la meilleure coordination et évitaient les conflits. Elles sont générées par l'instauration d'un « état d'esprit ». L'innovation est ainsi passée d'un repère économique à un repère culturel. Cela fait sens quand les études ont montré qu'un quart de l'activité innovante d'Eurocopter en France, et au-delà de la pérennité de son existence, est assurée par une quinzaine de personne.

Si l'époque des pionniers est bien révolue, et que l'innovation ne saurait être l'œuvre réservée à quelques génies solitaires, il n'en demeure pas moins qu'aujourd'hui encore, seuls quelques individus la soutiennent. Rien n'oppose l'enthousiasme des premiers défis aux conditions de gestion actuelles, la passion du vol demeure inchangée. Mais au delà de l'état d'esprit, c'est la perte de repère et de sens des valeurs et des priorités d'actions qui a été dilué dans la complexité du monde des hautes technologies actuelles. L'industrie, centrée sur des objectifs de performance et dominée par des impératifs de marchés, évalue ses succès en fonction de critères selon lesquels les innovations ne sont que subjectivement exprimables. Si la recherche est une activité qui transforme l'argent en idées et l'innovation celle qui transforme les idées en argent, la question de leur sens et de leur finalité restent encore à discuter. Cette thèse retient ainsi que l'innovation est un état d'esprit et que la favoriser correspond à donner du sens, aux actions individuelles et aux logiques et finalités industrielles.

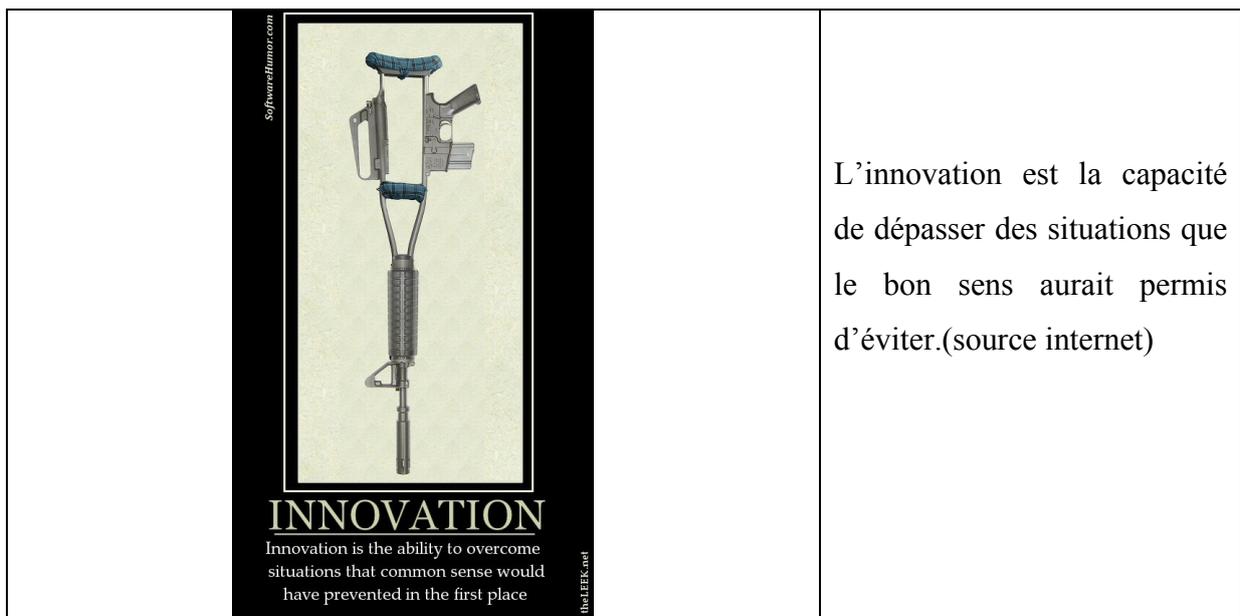


Figure 91 : Affiche

- **Travaux complémentaires et perspectives**

L'innovation a initialement été envisagée comme une transformation d'idées en produit. Il serait intéressant d'étendre les travaux à la transformation d'idées en service. En effet, ce type d'activité est amené à être développé dans un avenir proche, pour satisfaire les attentes exprimées par les clients. Il serait enrichissant pour un industriel d'analyser différents moyens de quantifier ces attentes. Il serait également intéressant de trouver comment les prendre en compte au mieux dans les critères de sélection des projets. Définir les limites et leurs évolutions entre les concepts de « produit » et « service » serait une réflexion fructueuse pour guider l'innovation, particulièrement celles à l'interface home-machine.

L'innovation a été abordée en considérant les hélicoptéristes comme des entités homogènes. En fait, ils sont composés d'un ensemble de sites implantés dans différents pays auxquels sont associés des filiales réparties sur les cinq continents. Il serait intéressant de prolonger cette thèse en intégrant la diversité des influences culturelles, notamment en observant la spécificité franco/germano/espagnole d'Eurocopter. Comprendre les influences de la culture sur les choix de développements stratégiques, cerner les limites des échanges d'informations serait un atout incontestable pour améliorer l'organisation générale. Quand la l'innovation est favorisée par la mixité de sources de créativité, le caractère mondial des hélicoptéristes est une richesse non encore exploitée qu'il serait dommage d'ignorer.

L'innovation a été abordée d'une manière générale, mais de très nombreux points mériteraient d'être développés. Chacune des pistes d'innovation identifiées dans le second chapitre (la simplicité du pilotage, le respect de l'environnement...) est en soit un sujet d'étude et même de plusieurs études, selon la spécialisation des résultats attendus. Par ailleurs, même si les méthodes de créativité et de conception sont apparues de second ordre face à la valorisation d'un état d'esprit particulier, elles restent des outils utiles pour faciliter les démarches des innovateurs. Une analyse du système de veille technologique et industrielle serait en particulier bien venue. Enfin, des études sur les outils de production seraient profitables aux innovateurs, notamment par la disponibilité d'outils de prototypage et de moyens d'essais.

Pour conclure, les problèmes de gouvernance n'ont pas été abordés, pour des raisons de sensibilités. Quand les états sont impliqués, que l'innovation a des conséquences directes sur les politiques d'emploi et que les employés d'Eurocopter sont majoritairement syndiqués, cette thèse est convaincue qu'une analyse des processus décisionnels est le moyen le plus efficace de dégager la meilleure façon de favoriser l'innovation dans l'industrie hélicoptériste.

Bibliographie

Ouvrages

- [AFN 91] Ouvrage Collectif, Norme X50-901. Management de projets et Innovation. Afnor, 1991
- [AFN 09] Ouvrage Collectif, Norme ISO 31000. *Cartographie des risques : élaborer un référentiel de gestion des risques et cartographier les risques*. Afnor, 2009
- [AIT 06] AIT-EL-HADJ, S.-. BRETTE, O.- DEVALLE, P.- BOLY, V. *Innovation, Management des processus et création de valeur*. L'harmattan, 2006
- [BER 04] BERLAND, N. *Mesurer et piloter la performance* Editions de la performance, 2004
- [BRA 07] de BRABANDERE, L *la valeur des idées* Dunod, 2007
- [BOL 04] BOLY, V. *Ingénierie de l'innovation* » Lavoisier, 2004
- [BOO 82] BOOZ -ALLEN -HAMILTON *New product management* BAH, 1982
- [BRO 04] BROWN, T. ULIJN, J. *Innovation, Entrepreneurship* Edwar Elgar Publishing Limited, 2004
- [CHA 62] CHANDLER, A.D. *Stratégie et structures de l'entreprise* MIT Press, 1962
- [CHA 09] DENERVAUD, I. - CHATIN, O. *L'ADN de l'entreprise innovante* Pearson Education, 2009
- [CHR 92] CHRISTENSEN, C. - RAYNOR, M. *The innovator's solution* Harvard Business School Press, 1992
- [CHR 08] CHRISSIS, M. - KONRAD, M. – SCRUM, S. *Guide des bonnes pratiques pour l'amélioration des processus* Pearson Education, 2008
- [CLA 83] CLARK, K. - ABERNATHY, W. - KANTROW, A. *Industrial renaissance: producing a competitive future for America* Basic books, 1983
- [CLA 10] CLARKE, R.V. - BULLOCK, K. - TILLEY, N; *Situational prevention of organised crimes* William Publishing 2010
- [CNP 09] Ouvrage collectif, *Ttraité pratique de sûreté malveillance* Centre national de prévention et de protection, 2009
- [COL 04] COLLAS-HEDDELAND, E. *Pour une histoire culturelle du risque* Université de Haute-Alsace 2004
- [COR 07] CORBEL, P. *Management stratégique de la propriété intellectuelle* Editions Gualino 2007

- [COU 00] COÛTNEY, H. *les stratégies de l'incertain* Harvard Business Review Press, 2000
- [CRO 77] CROZIER, M. *L'acteur et le système* Le seuil, 1977
- [CUN 91] CUNNINGHAM WOOD, J. *Joseph A. Schumpeter* Routledge, 1991
- [CUS 07] CUSSON, M. *La criminologie* Hachette, 2007
- [DAV 92] DAVIET, J.P. - BERNARD, P.J. *Culture d'entreprise et Innovation* Presses du CNRS, 1992
- [DUS 95] DUSSAUGE, P. GARETTE, B. *Les stratégies d'Alliances* les éditions d'Organisation, 1995
- [FLE 10] FLEMING, Q. - KOPPELMAN, J. *Earned Value Project Management* Project Management Institute, 2010
- [GAF 90] GAFFARD, J.L. *Economie industrielle et de l'innovation* Dalloz, 1990
- [GAU 05] GAUMONT-PRAT, H. *Droit de la propriété intellectuelle* Editions Litec 2005
- [GET 00] GETZ, I. *Processus et système de créativité* Vuibert, 2000
- [GRO 08] GROS, F. - CASTILLO, M. - GARAPON, A. *Nouvelles menaces, nouvelles sécurités*, Presses de Science-Po, 2008
- [HAC 10]. Dictionnaire HACHETTE, 2010
- [HAM 90]: HAMEL, G. - PRAHALAD, C. *The core competence of the corporation* Harvard Business School Press, 1990
- [HAR 95] HART, O. *Firms, contracts and financial structure* Clarendon Press, 1995
- [IRI 89] D'IRIBANE, P. *La logique de l'honneur* Le seuil, 1989
- [JAR 09] Ouvrage Collectif *Joint Aircraft Regulation Operational - part 27 et part 29 - EASA/ICAO*, 2009
- [KET 91] R KETS de VRIES, M. *Profession leader* McGraw Hill, 1991
- [KEY 04] KELLEY, T. *The art of Innovation* Profile Books ltd, 2004
- [LAR 10] Dictionnaire LAROUSSE, 2010
- [LEA 65] LEARNED, E.P. CHRISTENSEN, C.R. *Business Policy : Text and Cases* Homewood, IL : Irwin, 1965
- [LUE 03]. LUECKE, R. *Managing creativity and Innovation* Harvard Business School Press, 2003
- [MAL 03] MALBURET, F. – KRYSINSKI, T. *origine et contrôle des vibrations mécaniques* Lavoisier, 2003
- [MCG 74] Mc GREGOR, D. *La dimension humaine de l'entreprise* Gauthier-Villars, 1974

- [MEL 79] MELESE, J. *Approches systémiques de gestion vers l'entreprise à complexité humaine, hommes et technique* Editions de l'Organisation, 1979
- [MEY 07] MEYLAN, C. *Système TRIZ de stimulation de créativité et d'aide à l'innovation* Texto 2007
- [MIN 07] MINTZBERG, H. *Tracking strategy: towards a general theory* Oxford University Press, 2007
- [MIN 09] MINTZBERG, H. - AHLSTRAND, B. - LAMPEL, J. *Safari en pays stratégie* Pearson 2009
- [MOT 97] MOTHE, C. *Comment réussir une alliance de R&D* L'Harmattan, 1997
- [OLL 95] OLLIVIER, B. *L'acteur et le sujet* Desclée de Brower, 1995
- [PEN 59] PENROSE, E. *The theory of the growth of the firm* John Wiley, 1959
- [PER 01] PERRIN *Concevoir l'innovation industrielle* CNRS éditions, 2001
- [PFE 01] PFEFFER, J – SUTTON, R. *The knowing-doing gap* Havard Business School Press, 2001
- [PIC 11] PICHERIN, T. *Ethique et renseignement, la difficile cohabitation du bien et de la nécessité* Groupe Européen de Recherche en Ethique et Renseignement, Editions Eska 2011
- [POR 08] PORTER, M. *On Competition* Harvard Business School Press 2008
- [PRA 06] PRADIER, P. *La notion de risque en économie* Editions de la découverte 2006
- [PRI 07] PRIJEVIC, M. *La stratégie de positionnement comme clé du succès* L'Harmattan 2007
- [PUG 91] PUGH, S. *Total Design* Pearson Education, 1991
- [RAY 06] LE RAY, J. *Gérer les risques* Afnor, 2006
- [ROB 10] Dictionnaire ROBERT , 2010
- [ROM 02] ROMELAER, P. *Innovation et contraintes de gestion : les logiques de l'innovation* La Découverte 2002
- [ROO 95] ROOZENBRUF, N. - EEKELS, J. *Product design: fundamentals and methods* John Wiley , 1995
- [SCH 26] SCHUMPETER, J. *Théorie de l'évolution économique* 1926
- [SCH 39] SCHUMPETER, J; *Business Cycles* Mc Graw Hill Press, 1939
- [SEC 02] Ouvrage Collectif, Recueil de normes *La sécurité informatique : manager et assurer* Afnor, 2002
- [SEI 08] SEIFFERT, M. *Apprentissage et stratégie sur la longue durée* L'Harmattan, 2008
- [SIM 58] SIMON, H. - MARCH, J. *Organisations* John Wiley, 1958

- [SIM 97] SIMON, H. *Models of Bounded rationality* Massachusetts Institute of Technology, Press, 1997
- [THE 92] THEVENET, M. *Impliquer les personnes dans l'entreprise* Editions Liaisons, 1992
- [THE 06] THERIN, F. - SCHILLING, M. - *Gestion de l'innovation technologique* MAXIMA, 2006
- [VER 09] VERNIMMEN, P. - QUERT, P.- LE FRU, Y. *Finance d'entreprise* Dalloz, 2009

Articles de périodiques

- [ABE 85] ABERNATHY, W. – CLARK, K Innovation mapping the winds of creative destruction *Research Policy* 1985, n°14
- [AKR 88] AKRICH, M. - CALLON, M. – LATOUR, B. A quoi tient le succès des innovations ? *Gérer et comprendre Annales des mines* 1988, n°12
- [ALT 95] ALTER, C. Peut-on programmer l'innovation ? *Revue Française de Gestion* mars-avril 1995
- [BAR 93] LEONARD-BARTON, D. Developer-User Interaction and User Satisfaction in Internal Technology Transfer *Academy of Management Journal* 1993, Vol. 36, n°5
- [BLA 07] BLANCO, S. Sélection d'idées, le maillon faible *L'expansion Management Review* 2007, n°126
- [CHI 05] CHIAPELLO, E. Les normes comptables comme institution du capitalisme *Journal Sociologie du Travail* 2005, Vol 47, Issue 3
- [CLA 87] CLARK, K. - CHEW, B. - FUJIMOTO, T. Product development in the world of auto industry *Brooking Papers on Economic* 1987, n°3
- [COA 37] COASE, R.H. The nature of the firm *Economica* 1937, n°4
- [CAU 10] CAUDRON, M. Galileo : Le Partenariat Public-Privé à l'Epreuve du Juste Retour *European Political and Administrative Studies, Cahiers de recherche politique de Bruges* 2010, n° 11 0

- [DAS 01] DAS, T. – TENG, B. Trust, Control and Risks, in strategic alliances *Organizations Studies* 2001, n°2
- [DED 08] JP DEDIEU, “How Eurocopter handle SAFETY”, law enforcement seminar, cape town, 16 sept 08
- [DES 09] G. DESZCA, H. MUNROA, H. NOORIA, « Developing breakthrough products: challenges and options for market assessment » *Journal of Operations Management*, Volume 17, Issue 6, 1999
- [DOO 99] K. DOOLEY, A. VAN DE VEN, « Explaining Complex Organizational Dynamics » *Organization Science* vol10 n°3, 1999
- [EIS 01] KM EISENHARDT et D.N. SULL, « Strategy as simple rules » *Harvard Business Review*, janvier 2001
- [FAR 95] R. FARSHAD, « How important is physical collocation on product development success? » *Journal of Product Innovation Management*, Volume 12, Issue 4, September 1995
- [FIG 08] T. VIGOUREUX « Le Brésil commande 50 hélicoptères français », *le figaro* 30 juin 2008.
- [FIS 91] F. FISCHER, « Risk Assessment and environmental crisis », *Industrial Crisis Quarterly* vol 5, 1991
- [FOS 09] A. FOSFURY, T. RONDE, « Leveraging resistance to change and the skunk works model of innovation » *Journal of Economic Behavior & Organization*, Volume 72, Issue 1, 2009
- [FRA 04] P. FRANCOIS, « Représentations des compétences, une approche psychosociale » *Psychologie du Travail et des Organisations*, Volume 10, Issue 2, 2004
- [HAN 89] HANFLING, D. Helicopters crashes *Disaster Medicine*, April 1989
- [HAN 99] MT. HANSEN, N. NOHRIA, T. TIERNEY « What is your knowledge learning strategy ? » *Harvard Business Review*, April 1999
- [HEN 69] B.D. HENDERSON, Boston Consulting Group, « What is a Business strategy ? », 1969
- [HOF 09] G. HOFSTEDE, « The cultural relativity of organizational practices and theories - Perspective » *Journal of International Business Studies*, Vol. 40, 2009
- [HOG 06] R. HOGAN, F. De FRUYT, J.P. ROLLAND, « Validité et intérêt des méthodes d'évaluation de la personnalité à des fins de sélection », *Psychologie Française*, Volume 51, Issue 3, 2006

- [HOL 94] B. HOLMSTROM, G. BAKEN, M. GIBBS, « The wage policy of a firm » – quarterly journal of economics, N°109, 1994.
- [ITT 98] ITTNER, C. – LARKER, D. *Innovations in performance measurement : trend and research implications* Journal of management of accounting research, vol 36, 1995
- [JOL 95] JOLLY, D. *Accéder à l'innovation technologique par la coopération interentreprise* Gestion 2000, vol 20 n°4, 1995
- [KAH 79] D. KAHNEMAN, A. TVERSKY « Prospect theory : an analysis of decision under risk » – econometrica n°47, 1979
- [MAS 43] MASLOW AH, « A theory of human motivation » - psychological review, vol 50, 1943
- [MCK 72] McKinsey, « Planning a chemical company's prospects » Royal Dutch Schell, 1972
- [MID 97] Midler C. evolution des modèles d'organisation et regulation économique de la conception annals des mines février 97
- [MOT 90] A. MOTHE, « Comportements d'entreprises, stratégies de groupes » No spécial de : "Economie et statistique" no 229, 1990
- [MUS 95] P. Mustar « Recherche, innovation et création d'entreprises » — encyclopédie de gestion – Economica, 1995
- [NUN 07] P. NUNES la créativité malade de la structure l'expansion management revue n°126 2007
- [PAR 95] M. PARKER « Working together, working apart » - - the sociological review n°3, 1995
- [PEA 98] C. PEARSON, J. CLAIR, « Reframing crisis management », Academy of management review N°1 vol 23, 1998
- [POR 82] M ;PORTER « choix stratégique et concurrence » Economica 1982
- [RAI 02] F. LERT « Le RAH 66 Comanche » – RAIDS hors série n°6 - 2002
- [RAI 03] F. LERT « Le V22 Osprey : le convertible enfin opérationnel ? » – RAIDS hors série n°12 – 2003
- [SCH 54] SCHRAG « Leadership among prison inmates » – American Sociological Review n°19, 1954
- [SCH 02] B. SCHNEIER, « Security and Privacy: building confidence in a networked world » IEEE computer magazine, 2002
- [STU 04]: Stuart Birch - The art of wing assembly - Aerospace engineering and manufacturing –March 2004

- [TEE 97] D. TEECE, G. PISANO, A. SHUEN, «Dynamic capabilities and strategic management » strategic management journal N° 18, 1997
- [TRI 91] H. TRICE, D. MORAND, «Cultural diversity: Sub culture and Counterculture in Work organization », studies in Organisational Sociology, 1991
- [VER 66] Raymond Vernon - International Investment and International Trade in the Product Cycle. Quarterly Journal of Economics, May1966.
- [VER 06] Raymond L ;Robb Hybrid Helicopters : Coumpounding the quest for speed — Vertiflite summer 06
- [WEI 82] H. WEIHRICH, « the TOWS matrix : a tool for situational analysis », Long Range Planning , vol 15, N°2, 1982

Travaux universitaires

- [BEN 06] BENYAYER, J.L. *les déterminants de la formulation d'un avenir de rupture* Thèse de doctorat en Sciences de Gestion, Université de Paris Dauphine, 2006
- [CAR 10] CARRILLO, J. *Police et renseignement face à la menace criminelle* Thèse de doctorat en Sciences Politiques, Université de Toulouse, 2010
- [DID 01] DIDELOT, A. *Contribution à l'identification et au contrôle des risques dans le processus de conception* Thèse de doctorat en Génie des Systèmes Industriels, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2001
- [JAR 96] JAROZINSKI, A. *Contribution à la prise en compte de la complexité dans la gestion des systèmes de production* Thèse de doctorat en Productique, Université d'Aix-Marseille 3, 1996
- [JOS 96] JOSSE, R. *La gestion du risque stratégique ou choix stratégiques et couple risque-rendement* Thèse de doctorat en Sciences de Gestion, Université de Paris Dauphine, 1996
- [LEI 07] LEICHMAN, G.L. *Evolutions contemporaines de l'organisation du travail et rationalisation de la production* Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Université de Paris 1, 1997
- [MAR 08] MARTIN, P. *Le secret des affaires en droit français* Thèse de doctorat en Droit, Université de Lyon 3, 2008
- [MAR 10] MARGER, T. *Conception d'un distributeur de servocommande hydromécanique sous critères de coût et de mixabilité* Thèse de doctorat en sciences des métiers de l'ingénieur, Arts et Métiers ParisTech, 2010
- [MOU 11] MOUALLIM, I. *Evaluation de la volatilité et de la corrélation dans la gestion du risque de marché* Thèse de doctorat en Economie et Gestion, Université de Montpellier, 2011
- [MUL 07] MULOTTE, L. *Mode de lancement de nouveaux produits et performance.* Thèse de doctorat en Science Economique, HEC, 2007
- [PUJ 03] PUJOL, J.R. *Reengineering et environnements de qualité* Thèse de doctorat : en Sciences de Gestion, Université de Versailles, 2003
- [VIN 05] VINCENT, L. *Marketing strategy formulation in the commercialization of new technologies* Thèse de doctorat en Philosophie, Georgia Institute of Technology, 2005

Rapports

- [ARP 96] Ouvrage Collectif, Aerospace Recommended Practice 4761 - Guidelines and methods for conducting the safety assessment on civil airborne systems and equipments - SAE international 1996
- [BUR 02] BURNIER, R. - MASSEREY, R. Ordre et désordre dans le organisation et Changement *Séminaire de psychosociologie des organisations*, Paris 2002
- [CEI 07] CEI62402 - gestion de l'obsolescence – guide d'application – 2007
- [FRE 02] « Les conflits dans les partenariats d'innovation » – marc FRECHET – Centre de recherche en gestion de Toulouse, 2002
- [FRE 08] « Rapport d'information n° 352 » Y. FREVILLE - rapport d'informations du sénat, commission des finances, Mai 2008
- [GAO 09] « V-22 Osprey Aircraft, Assessments needed to address cost concerns to define future investments » M; SULLIVAN, United States Government Accountability Office, 2009
- [MAL 08] « Défense et sécurité nationale : le livre blanc », J.C. MALLET, La documentation française, 2008
- [OAC 47] «Convention relative à l'aviation civile internationale », DOC 7300, Documentation OACI – Avril 1947
- [SEN 05] Rapport n° 426 (2004-2005) de M. Yves Fréville au nom de la commission des finances, « Maintien en condition opérationnelle de la flotte » www.senat.fr consulté en Décembre 2009
- [SEN 09] rapport d'information du sénat n°205, MM. Jean-Pierre MASSERET et Jacques GAUTIER, Février 2009

Documents internes Eurocopter

- [AWA 09] « Annual Worldwide Analysis of Competitors' Situation » , J.L. FINIDORI, EZSA, 2009
- [CAF 09] « Green activities » M. CAFAXE, LBG-2009-5-EC activ.ppt
- [EAD 09]: « Présentation du groupe EADS », 2009-1005_._EADS_CP_EN.ppt
- [EPS 09] « Face the Reality – Rethink the Future for Eurocopter – The Competitive Challenge», EPSMSD, 2009
- [FER 08] « Optimized endurance test bench » L FERRARI, CRQG3-2007-137, 2008
- [GAL 10] « Engagement survey » rapport EADS, décembre 2010.
- [MAI 06] : « Classification et sécurité des éléments structuraux et des équipements », M. MAISONS, EP 04-06, 2006
- [RAY 03] « Processus de gestion des risques », P. de RAYMOND, EP 01-11, 2003

- [TAP 08] « The green Helicopter, Attributes for more Environmental friendly Helicopters», Pr Von TAPAVICZA, ETFII, 2008
- [VIN 09] « Green Helicopter », M. VINAS, LBG09 4 aut rot workshop.ppt, 2009
- [VUI 09] « Innovation Map », A. VUILLET, LBG09 3 - RD challenges.ppt, 2009
- [WAL 09] « Continuing Airworthiness », W. WALLWITZ, EP14-02, 2009
- [WOR 09] « Workshop LBG0.ppt », Workshop LBG0.ppt

Sites web consultés

- [ACN 09] www.ac-nancy-metz.fr/enseign/transportsLP/ *La Formation Logistique et Exploitation des Transports – Site de l'Académie Nancy Metz* 11- 2009
- [AER 10] www.aerospace-technology.com *website for the aerospace industry* 03 -2010
- [AGU 09] www.agustawestland.com *Agusta Westland Company*12 -2009
- [AIR 09] <http://www.airbus.com> *Airbus industry* 11 -2009
- [ARM 10] www.army-technology.com *the website for the defence industries* 03 -2010
- [ART 10] www.ensam.fr *Ecole des Arts et Métiers*12 -2010
- [AVI 09] www.avic.com *China Aviation Industry Corporation*12 -2009
- [AVI 10] www.aviastar.org/helicopters.html *All the world's Rotorcraft* 02 -2010
- [BEA 09] www.bea.aero *bureau des enquêtes et accidents aéronautiques* 12 -2009
- [CAN 10] www.tc.gc.ca/aviationcivile.html *Centre de référence en ligne de l'aviation civile canadienne* 02-2010
- [CCF 09] www.ccf.fr/statistiques/faits-et-chiffres/ *Comité des Constructeurs Français d'Automobiles*11 -2009
- [EUR 09] www.eurocopter.com *Eurocopter Company* 12 -2009
- [GLO 09] www.globalsecurity.org *Reliable Security Information*12 -2009
- [HAL 09] www.hal-india.com *Hindustan Aeronautics Limited*12 -2009
- [IHS 09] www.IHST.org *International Helicopter Safety Team*12 -2009
- [IRT 09] www.irtad.net *International Road Traffic and Accident Database,* 12 -2009
- [ONE 10] www.onera.fr *the French Aerospace Lab* 01-2010
- [SIK 09] www.Sikorsky.com *Sikorsky Aircraft Corporation* 12 -2009
- [URB 09] www.urbanaero.com *Urban Aeronautics company* 12 -2009



Laurence FERRARI

L'innovation dans l'industrie hélicoptériste

Résumé

L'industrie hélicoptériste est une industrie de haute technologie caractérisée essentiellement par la taille réduite de son marché, le faible nombre de concurrents, la fréquence des situations monopolistiques établies par les fournisseurs, une réglementation exigeante et des contraintes technologiques spécifiques de conception. Ses projets ont souvent connu ces dernières années des dérives temporelles et budgétaires. Le développement des nouvelles technologies d'informations, les avancées des connaissances aérodynamiques et les nouveaux matériaux la propulse actuellement à un carrefour industriel de son histoire.

Cette thèse a pour objectif de soutenir les efforts de développement d'un des leaders mondiaux de l'industrie hélicoptériste, dans un contexte de compétition orientée vers l'innovation. Les retours d'expérience de projets ont mis en lumière des situations récurrentes contrariant leur aboutissement. Les solutions conséquentes proposées pour favoriser l'innovation sont basées sur la valorisation d'un état d'esprit plutôt que une optimisation structurelle ou la recherche de méthode de créativité.

Mots clés : Innovation – Hélicoptère – Compétition – Projet – Structure

Résumé en anglais

The helicopter industry is a high tech industry characterised in essence by the small size of its market, the low number of competitors, the high frequency of monopolistic situations set up by suppliers, demanding regulations and specific technological design constraints. In the last few years, projects have been affected by time and budgetary limitations. The development of new information technologies, the advances in the knowledge of aerodynamics and new materials are, in fact, thrusting the industry towards an seminal point.

The aim of this thesis is to support the developmental efforts of one of the world leaders in the helicopter industry, in a context of competition geared to innovation. Feedback from projects has highlighted recurring situations, which have frustrated (positive) outcomes. Therefore, recommended solutions to promote innovation are based on the value of the industry's ethos or frame of mind rather than structural improvement or even creative research methods.

Key words : Innovation – Helicopter – Competition – Project – Structure

ÉCOLE DOCTORALE ED390

**LGP2ES Laboratoire de génie des procédés
pour l'environnement, l'énergie et la santé EA21**

THÈSE

présentée par :

Laurence FERRARI

soutenue le **28 septembre 2011**

pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**

Discipline/ Spécialité : **ENERGETIQUE**

**L'INNOVATION DANS L'INDUSTRIE
HELICOPTERISTE – ANNEXES**

THÈSE dirigée par :

M. DESCOMBES Georges
M. MALBURET François

Professeur des Universités, Cnam
Maitre de Conférences, Arts et Métiers ParisTech

RAPPORTEURS :

M. DESMET Bernard
M. MASSOUH Fawad

Professeur des Universités, Université de Valenciennes, Ensiame
Professeur des Universités, Arts et Métiers ParisTech

JURY :

Melle PERILHON Christelle
Mme PORTE Catherine
M. DESCOMBES Georges
M. DESMET Bernard
M. MALBURET François
M. MASSOUH Fawad
M. TAPAVICZA Marko

Maitre de conférences, CNAM
Professeur des Universités, Cnam
Professeur des Universités, Cnam
Professeur des Universités, Université de Valenciennes, Ensiame
Maitre de Conférences, Arts et Métiers ParisTech
Professeur des Universités, Arts et Métiers ParisTech
Professeur des Universités, Technische Universität München.

INVITES :

M. FERRIER Jean-Jacques
M. KRYSINSKI Tomasz

Directeur du Département Innovation, Eurocopter
Directeur du Programme Voiture Super Light, PSA

Table des matières

Table des matières	3
Liste des figures	5
Annexe 1 Repères stratégiques	7
Introduction à la stratégie	9
A1.1 Méthode Porter (5+1 Forces)	10
A1.2 Méthode PEST	12
A1.3 Diagnostic et Positionnement	14
A1.4 Méthode SWOT	15
A1.4 Méthode Mac KINSEY (7S)	16
A1.6 Méthode BCG	17
Annexe 2 Sélection d'une piste d'innovation	19
2. Perspectives d'innovation : la Robotisation	21
Introduction	21
2.1 Robotisation	26
2.1.1 Avènement de la robotisation	26
2.1.2 Automatisation et autonomie	28
2.2 Robotisation dans l'aéronautique	31
2.2.1 Classification des drones	31
2.2.2 Confrontation Dornes – Hélicoptères	33
2.2.3 Collaboration Dornes – Hélicoptères	34
2.2.4 Etat de l'art	37
2.2.5 Concurrence	43
2.3 Opportunités	45
2.2.1 Faisabilité industrielle	45
2.2.2 Marché	48
2.2.3 Identification des freins	53
2.2.4 Contexte environnemental	56
Conclusion	60

Liste des figures

Figure 1 : "the 5+1 forces that shape industry competition" selon M. Porter	10
Figure 2 : méthode PEST	12
Figure 3 : Processus d'analyse d'Harvard.....	14
Figure 4 : exemple d'application de la méthode SWOT.....	15
Figure 5 : Exemple d'application du graphe 7S.....	16
Figure 6 : Matrice BCG.....	17
Figure 7 : Tendances d'évolutions technologiques.....	22
Figure 8 : Applications des nanotechnologies.....	23
Figure 9 : Pistes d'évolutions énergétiques	24
Figure 10 : Robots.....	26
Figure 11 : Autonomisation dans le secteur du transport.....	27
Figure 12 : Degré d'autonomie dans l'aéronautique.....	29
Figure 13 : Repères temporels et technologiques.....	30
Figure 14 : une classification des drones	31
Figure 15 : Drones miniatures.....	32
Figure 16 : Drones de combat	32
Figure 17 : Drones MALE et HALE.....	33
Figure 18 : missions de type « Dull ».....	34
Figure 19 : pistes de collaborations drones - hélicoptères	36
Figure 20 : système avionique classique.....	37
Figure 21 : architecture d'avionique	38
Figure 22 : évolution du FMS	40
Figure 23 : aide à la navigation	41
Figure 24 : exemples d'étapes prochaines d'autonomisation.....	41
Figure 25 : exemple de découpage des segments sol et air.....	42
Figure 26 : Différents types de stations du segment sol.....	42
Figure 27 : quelques produits de la concurrence en 2010	43
Figure 28 : Capture d'une part de marché par une concurrence indirecte	44
Figure 29 : Exemples de possession dont peuvent bénéficier les hélicoptéristes	46
Figure 30 : Exemples de parties peu profitables aux hélicoptéristes	46
Figure 31 : répartition des responsabilités.....	47
Figure 32 : comparaison des projets d'engagement vers la robotisation	48
Figure 33 : Robotisation des missions dans le temps (en vert) [EYE 10].....	50
Figure 34 : les drones dans l'armée française.....	50

Figure 35 : tendances à l'individualisation et au transport cargo	50
Figure 36 : clients civils potentiels.....	52
Figure 37 : éléments de comparaison hélicoptéristes - systémiers.....	54
Figure 38 : facteur d'influence politique	56
Figure 39 : Réservoir de partenaires informatiques américains.....	57
Figure 40 : Leaders politiques des principaux pays concurrents	57
Figure 41 : principaux acteurs industriels de la défense européenne.....	59

Annexe 1

Repères stratégiques

Introduction à la stratégie

Cette annexe présente des repères stratégiques et les méthodes retenues dans le but de guider les réflexions des innovateurs sur la pertinence de leur proposition.

La stratégie se décline à plusieurs niveaux : général, concurrentiel et opérationnel. Elle renseigne l'entreprise sur son environnement, de délimiter son périmètre et d'identifier ses avantages compétitifs, et enfin d'organiser le déploiement de ses actions. Elle sert de référence pour harmoniser les intentions à différents niveaux (directoire, sectoriel et individuel), la cohérence entre chacun étant déterminante pour l'aboutissement des projets.

L'environnement comprend tout ce qui est extérieur à une entreprise : les concurrents, les consommateurs, tous les acteurs du marché et même la société en général, tant les faits d'actualité peuvent venir les bouleverser. La perception de l'environnement par une entreprise est significative des valeurs de ses dirigeants. Les mêmes faits peuvent être interprétés comme autant de signe justifiant le bien fondé de sa ligne de conduite ou au contraire alertant l'entreprise de la nécessité d'un changement.

Le périmètre de l'entreprise précise son offre et la manière dont elle alloue ses ressources pour la créer. Il traduit les propositions des dirigeants pour répondre aux attentes des actionnaires en fonction de leur vision du marché (décisions d'investissement, choix de la gamme de produits, le dessein de couverture géographique...).

Les avantages compétitifs sont les atouts identifiés pour chaque domaine d'activités de l'entreprise. Ils sont des particularités techniques, des spécificités de prix, ou toute marque identifiable par la clientèle permettant de distinguer l'entreprise de ses rivales. Ils découlent de la perception de la concurrence par les différents secteurs de l'entreprise (souvent appelés Strategic Business Unit quand l'allocation de leurs ressources sont indépendantes).

Le déploiement des actions est la réalisation concrète des volontés et intentions retenues par l'entreprise. Il veille à la cohérence entre les ressources allouées, les processus proposés et les capacités des individus à les mettre en œuvre, et permet de coordonner les différentes actions individuelles.

A1.1 Méthode Porter (5+1 Forces)

Dans un premier temps, il s'agit de comprendre les jeux conditionnant la rivalité entre concurrents. Une méthode a été développée par M. Porter [POR 08] depuis les années 80 et elle est actuellement très répandue. Elle distingue des six groupes d'acteurs (Etats, fournisseurs, concurrents, nouveaux entrants, clients, industriels d'autres secteurs) et propose de s'interroger sur la capacité de chacun d'entre eux à contraindre le comportement des autres. Ces rapports de force établissent une représentation de la compétition qui permet de présager des possibilités d'avenir. Cette méthode est particulièrement adaptée pour chercher à anticiper des événements techniques ou économiques. En revanche, elle l'est moins pour analyser l'impact des modifications sociologiques. Elle est souvent complétée par des analyses descriptives de la filière industrielle ou du métier ou encore du marché pour permettre de dégager les « facteurs clés du succès ». Ces facteurs sont les paramètres qu'une entreprise se doit de maîtriser pour exister dans son environnement.

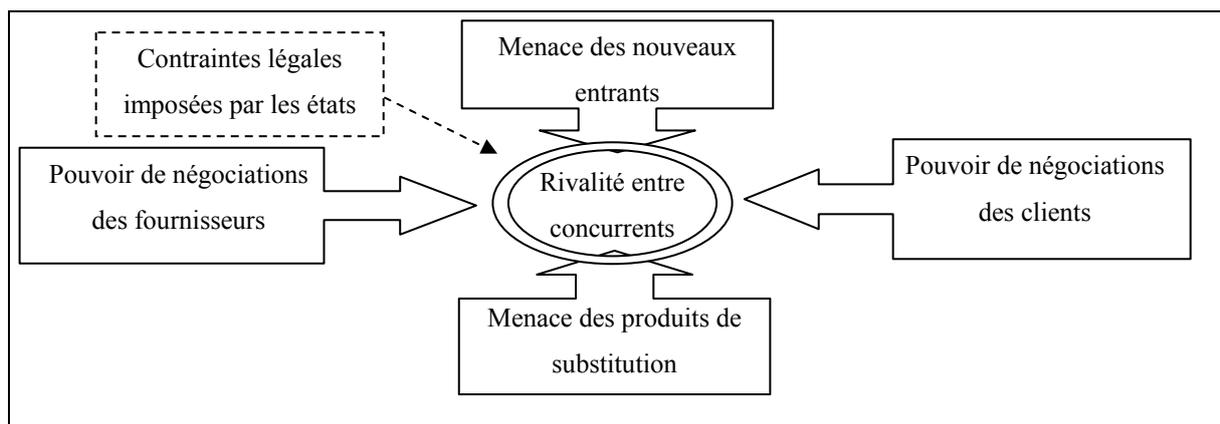


Figure 1 : "the 5+1 forces that shape industry competition" selon M. Porter

La méthode des 5 forces appliquée à la compétition dans l'industrie de l'hélicoptère aboutit à la formulation des principes ci-après. Ils devront être pris en compte par tous les plans de développements. Les hélicoptéristes sont soumis à :

- une **forte rivalité entre concurrents** : Elle est due à la petite taille du marché qu'ils se partagent (quel que soit sa croissance, le volume des ventes reste limité). Elle est d'autant plus exacerbée que leur produits sont peu différenciés. Les barrières de sortie très fortes (actifs et capital immatériel spécialisés, volontés étatiques...) les incitent à se battre jusqu'à leur disparition pour rester dans la compétition plutôt qu'à s'orienter dans une autre activité. Agusta, qui ne produisait qu'une petite dizaine d'hélicoptère dans les années 80 est ainsi resté

dans la course et a même fini par la rattraper ; Bell continue actuellement de déposer des brevets alors qu'il est au bord de la liquidation...

- Un **pouvoir élevé des fournisseurs** : Les hélicoptéristes ont deux grandes catégories de fournisseurs : les petites entreprises sous traitantes pour lesquelles ils représentent la majorité de leur chiffre d'affaire et les fournisseurs de technologies très spécialisés pour lesquels ils ne représentent à leur tour qu'une part infime de l'activité. Ces disproportions de taille génèrent des monopoles et des situations de dépendances au privilège des fournisseurs du second groupe. Ils peuvent d'autant plus facilement imposer leurs conditions que les couts de développement qu'impliquerait un changement de fournisseur aux hélicoptéristes sont prohibitifs.

- Un **pouvoir très élevé des consommateurs** : Les clients sont puissants car les ventes sont très limitées, et que la plupart disposent en général d'une flotte d'hélicoptères et non d'un seul. Ainsi, les clients d'Eurocopter possèdent en moyenne 5 machines. Les couts d'acquisitions et d'entretien des machines sont déterminants. Plus l'appareil est cher, plus le client peut imposer ses revendications. Ainsi la taille de la cabine du NH90 a été augmentée de 10cm pour répondre aux exigences des clients suédois. Ce pouvoir est toutefois tempéré car les hélicoptéristes sont eux aussi peu nombreux, et que les consommateurs ne peuvent se priver de bonnes relations pour faire jouer la concurrence.

- Une **menace de nouvel entrant tempérée** : Seuls trois hélicoptéristes sont capables d'émerger actuellement sur le marché. Les chinois ont l'avantage d'un grand marché intérieur et de cout réduits, mais sont encore un retard technologique, Les russes sont handicapés par le manque d'un réseau de support à la clientèle et devront sans doute s'allier temporairement, pour conquérir les marché de l'ouest. Les coréens sont les plus discrets, mais s'ils arrivent à maitriser le développement de leur filière, ils pourront conquérir des parts de marché aux grands hélicoptéristes actuels, en particulier sur les marchés asiatiques, qui connaissent une forte croissance.

- Une **menace de produits de substitution tempérée** : La capacité des hélicoptères de s'élever et atterrir verticalement les rend uniques sur le marché. Les drones sont les seuls appareils capables d'assurer certaines de leurs missions à leur place. Les hélicoptères abandonneront ainsi à leur profit les segments de marché centré sur la prise de photographie aérienne ou la surveillance maritime, car ils ne pourront lutter contre les couts réduits des drones. Les hélicoptéristes sont substitués par des industriels issus d'autres domaines, en particulier des équipementiers avioniques.

A1.2 Méthode PEST

Dans un second temps, il s'agit d'anticiper l'évolution de la compétition, pour éviter de la subir. Une des méthodes les plus utilisées est la méthode PEST. Elle consiste à repérer les changements bousculant les champs Politique, Economique, Social et Technologique, et à se questionner ces faits d'actualités pour établir leurs impact sur chacun des acteurs de la compétition. La littérature désigne souvent par « tendances lourdes » d'évolution ces divers bouleversements, lorsqu'ils entraînent des modifications durables dans la société.

Les trajectoires industrielles sont en effet orientées par les avancées technologiques et les mouvements économiques, politiques ou sociaux. Internet, la crise financière de 2009, la guerre contre le terrorisme ou encore l'accès pour des femmes à des postes de responsabilités traditionnellement confiés à des hommes ont profondément bouleversé la société, et par conséquent les marchés. Chacun à leur niveau, ces faits entraînent ainsi des modifications de la compétition et forcent les entreprises à intégrer de nouveaux potentiels de développement. Quelles que soit la méthode, déceler ces tendances reste cependant délicat car il s'agit de distinguer des phénomènes sociologiques sans les confondre avec leur effet.

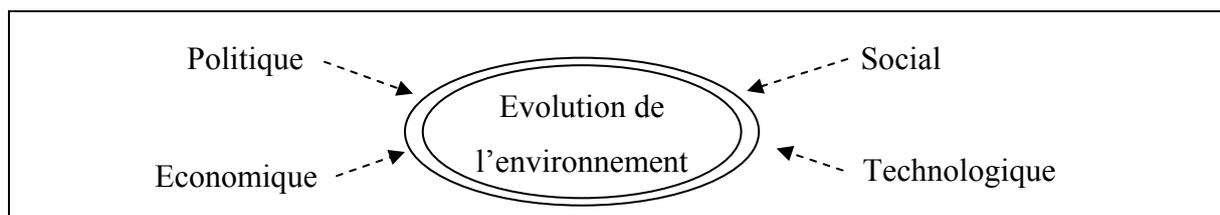


Figure 2 : méthode PEST

Par exemple, l'attente de technologies respectueuses de l'environnement est-elle une tendance lourde ou l'effet d'un phénomène plus profond ? A priori, la recherche de solutions écologiques est imposée par la prise de conscience des conséquences pour la planète des actions de chacun. Une nouvelle morale écologique se construit sur la menace créée par les comportements industriels passés. Elle oriente les entreprises vers des modes de productions plus respectueux pour être la nature : les nouvelles propositions techniques doivent respecter les convictions vertueuses des consommateurs, soucieux de leur responsabilité envers la société. Pourtant les études marketing montrent que les consommateurs ne sont pas prêts à payer pour avoir des appareils plus écologiques. S'ils ne sont pas irresponsables, comment expliquer leur manque d'engagement ? Une explication est que la prise de conscience écologique n'est pas en elle-même une tendance lourde mais l'effet d'une tendance plus profonde, qui s'exprime ou non selon les situations. Alors que les nouveaux mondes virtuels font oublier les contingences matérielles, la technique s'efface pour ne laisser transparaître que les fonctionnalités qu'elle offre et les repères physiques s'estompent. Cette réalité

virtuelle apparait à une époque où les valeurs des sociétés occidentales sont en crise : la morale des modèles justifiant des répartitions des ressources s'est en partie effondrée et la standardisation imposée par l'économie de masse a fragilisé les repères culturels traditionnels. Dans ce contexte, l'importance accordée à l'écologie relève plus d'une action salutaire pour réconcilier les hommes et le monde réel que d'une simple préoccupation environnementale. Si les attentes écologiques sont sincères il n'en reste pas moins qu'elles ne sont qu'une expression d'une tendance plus profonde : l'intégration de l'imaginaire.

En ce qui concerne les hélicoptéristes, les tendances les plus marquantes sont

- Dans le champ politique : la guerre contre le terrorisme et la construction européenne
- Dans le champ économique : la raréfaction du pétrole et la crise financière,
- Dans le champ social : l'intégration de l'imaginaire, motivant notamment des aspirations écologiques, les réseaux sociaux et les services en ligne,
- Dans le champ technologique : La miniaturisation des technologies, (nano à l'échelle de l'atome ou microfluidique pour les systèmes fondés sur l'écoulement de fluide dans des tuyauteries de l'ordre du micromètre), l'avènement prochain de l'intelligence artificielle

Ces tendances font évoluer les acteurs et redessinent la compétition. L'apparition de nouvelles technologies force la venue de nouveaux partenaires et réduit d'autant le pouvoir des fournisseurs actuels au profit des hélicoptéristes. Elles créent par contre une menace de produits de substitution (les drones) et offre l'espoir à des nouveaux entrants d'accéder au marché en redéfinissant son périmètre actuel. Les événements politiques amplifient le pouvoir de négociations des clients, même tempérée par la crise financière. Pour ne pas se laisser piéger dans un échange basé sur les coûts dans lesquels ils ne seront plus en position de force, les hélicoptéristes peuvent miser sur la fidélisation de leur clientèle attirée par la qualité de leur réseau de support et services, ou proposer des produits et services non concurrencés. Quand aux facteurs sociaux, ils permettent de discerner les attentes des consommateurs pour mieux les séduire. Ainsi, les grandes perspectives sont la différenciation de l'offre, la fidélisation des consommateurs et la réduction des coûts.

A1.3 Diagnostic et Positionnement

Pour déterminer les possibilités d'action, une méthode propose de faire état d'un côté des compétences ou manque de compétences de l'entreprise et de l'autre d'évaluer certains événements conditionnant le succès ou l'échec des produits à commercialiser. Les termes « diagnostics » et « positionnement » sont utilisés couramment dans la littérature pour parler respectivement ces étapes. Elles confrontent enfin les pistes d'action à l'appréciation des dirigeants pour dégager les possibilités réelles. La Figure 3 schématise le processus d'analyse imaginé par les chercheurs de la Harvard Business School [LEA 65]

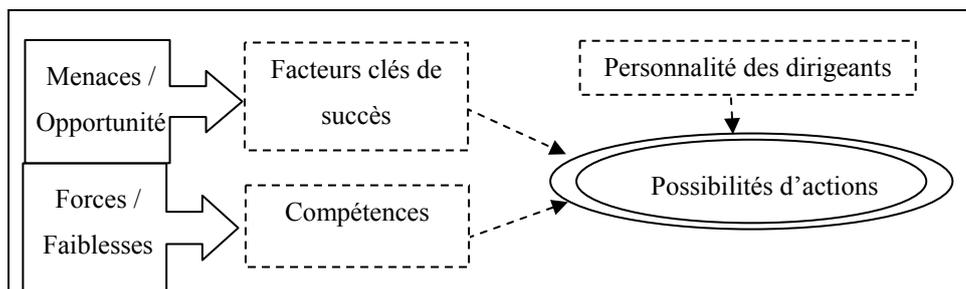


Figure 3 : Processus d'analyse d'Harvard

Les méthodologies classiques recommandent de mettre successivement en œuvre ce processus pour chacun des secteurs de l'entreprise. Ainsi l'ensemble des activités de l'entreprise sont évaluées les unes après les autres. Pour son organisation sont appréciées par exemple sa structure des coûts ou ses procédures de décision, pour son marketing il peut s'agir de sa capacité de communication, de promotion, ou encore de ses systèmes d'information ou de fidélisation des clients. Pour sa production sont généralement examinés sa localisation, son savoir faire, sa flexibilité, sa compétence logistiques, tandis que pour ses finances le diagnostic fait état de la trésorerie, des stocks et de sa capacité d'emprunt. Pour son bureau d'étude ses brevets et partenariats sont évalués et son système de valeurs ou le niveau de formations par exemple pour ses ressources humaines. L'objectif du diagnostic est de dégager les activités sur lesquelles l'entreprise peut s'appuyer et celles qui ne sont pas suffisamment maîtrisées. L'objectif du positionnement est d'évaluer les chances de succès d'une entreprise par rapport à celles de ses concurrents. Les facteurs qui peuvent apparaître comme une force pour une activité donnée peuvent en effet devenir une faiblesse pour une autre. Par exemple de hauts niveaux de rémunération du personnel peuvent être perçus comme une force, gage de recrutement de qualité, ou une faiblesse, responsable de coût de structure trop élevés.

A1.4 Méthode SWOT

La méthode SWOT (Strengths and Weaknesses of the organization in the light of the Opportunities and Threats of its environment) propose de lister dans une matrice les arguments affirmant ou infirmant le succès d'un produit donné. Une fois listés, ces arguments sont comparés deux à deux pour envisager tous les scénarii possibles et discerner les actions à prendre par l'entreprise. La société General Electric a synthétisé en 1973 les grandes orientations qui peuvent s'en dégager. Pour évaluer l'intérêt d'investir dans les drones, Eurocopter peut par exemple procéder à l'analyse suivante :

Forces	Opportunités
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compétences et outils disponibles ▪ Possession de systèmes déjà adaptables ▪ Capacité de financement (grand emprunt) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Place de leader vacante pour des drones certifiés ▪ Demande communes aux programmes HC ▪ Sécurisation de la propriété intellectuelle ▪ Entretien et amélioration des compétences
Faiblesses	Menaces
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avance des concurrents ▪ Faible maturité des applications ▪ Faible visibilité sur les demandes du marché ▪ Partenariat délicat avec les équipementiers 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Achat de solutions étrangères par l'UE ▪ Blocage par des brevets concurrents ▪ Perte de marché pour les HC ▪ Nouveaux entrants dans le secteur

Figure 4 : exemple d'application de la méthode SWOT

Dans le contexte actuel, Eurocopter est en situation de menace par les concurrents. Déjà le marché des EC 145 a été abandonné car les hélicoptères n'avaient pas la possibilité de voler de manière autonome. Eurocopter est en position de forces car il est actuellement leader sur le marché, seul le manque de stratégie avec les équipementiers peut le faire basculer en situation de faiblesse. A condition de bâtir une logique cohérente, Eurocopter a tout intérêt à s'engager, sous peine de devoir abandonner la compétition. Savoir comment est une autre question. .

A1.4 Méthode Mac KINSEY (7S)

Le graphe 7S est une approche du type « check-list » qui décrit simultanément plusieurs niveaux de l'entreprise pour mettre en évidence les principaux facteurs de succès. Cette méthode est très efficace pour construire un plan d'action et de valider un choix stratégique. Les critères les plus pertinents pour une recherche donnée sont parfois présentés sous forme de courbes pour faciliter la comparaison avec les principaux concurrents. Par exemple, Eurocopter n'a défini sa politique produit ni bâti son réseau de partenaires en vue de réaliser des drones...

Des approches complémentaires proposent de discerner les avantages compétitifs qu'une entreprise doit rechercher en intégrant des études marketing et des indicateurs économiques. De nombreux auteurs proposent des découpages des activités de l'entreprise en « segments stratégiques », voisins des « segments de marchés ». Ils regroupent des domaines d'activités de l'entreprise différenciés par des critères variables en fonction des auteurs (activités homogènes, des types de distributions, des marchés spécifiques, des structures de coûts, des compétences technologiques...). Ces critères sont choisis en du cœur de compétences de l'entreprise sur lequel les efforts doivent se concentrer. En analysant chaque segment individuellement, il devient plus facile d'en extraire des facteurs clés de succès et d'en déduire les atouts de l'entreprise.

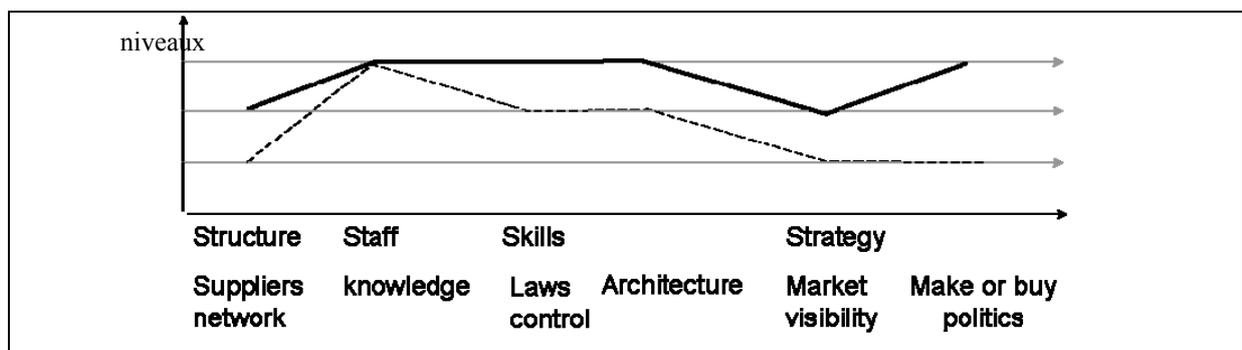


Figure 5 : Exemple d'application du graphe 7S

A1.6 Méthode BCG

La dernière méthode a pour intérêt d'aider à prioriser les activités. Les réflexions sont orientées autour de la répartition entre ses différents secteurs pour chercher la meilleure rentabilité. La Méthode de Bruce Henderson, fondateur du Boston Consulting Group (BCG). En 1979, il élabore une matrice systématisant les choix d'investissement en fonction des parts de marché détenues par le produit et le potentiel de croissance de l'entreprise le produisant [HEN 79]. Il constate que marges et part de marché vont de pair, que pour étendre un marché l'entreprise a besoin de liquidité, tout comme le financement de nouveaux produits, et qu'aucun marché n'est infini. Ainsi, la réussite d'une entreprise tient à l'équilibre entre ses trésoreries pour disposer de capacités d'autofinancement suffisantes aux moments opportuns.

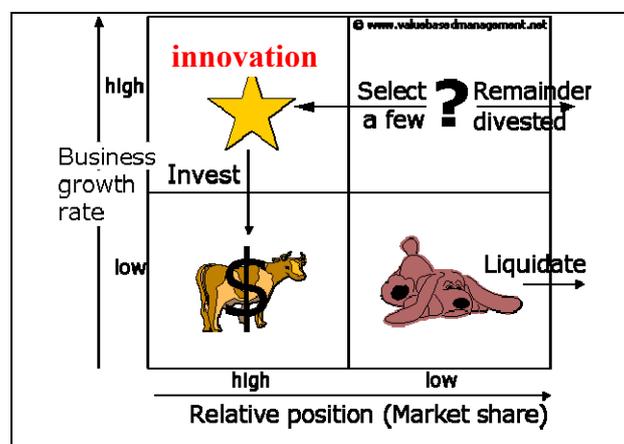


Figure 6 : Matrice BCG

Pour répartir les capitaux Henderson distingue

- les vaches à lait, produits à forte part de marché et faible croissance sur lesquels l'entreprise réalise de grandes marges sans avoir à trop investir,
- les poids morts, produits à faible part de marché et faible croissance qu'il n'est plus intéressant de conserver,
- les produits dilemme, à faible part de marché mais forte possibilité de croissance, qui nécessite plus d'apport financiers qu'ils n'en génèrent mais peuvent s'avérer prometteurs
- les produits vedettes, dont les parts de marché sont importantes, ainsi que les possibilités d'évolutions. La sémantique actuelle a remplacé le terme Vedette originel par Innovation, car c'est sur ces produits que l'entreprise doit drainer les fonds et concentrer ses efforts de développement.

Pour Eurocopter, une vache à lait est par exemple l'écureuil, développé il y a plus de 30 ans, entièrement amorti et toujours leader sur son marché, un poids mort l'EC120, un produit

dilemme le NH90 et une innovation l'EC 175 qu'elle espère conquérir rapidement de grandes part de marché de l'AW139.

Rassurante par sa simplicité cette matrice veut permettre de visualiser le jeu des flux financiers à mettre en œuvre. Elle a envahie toutes les présentations power point des ingénieurs du bureau d'étude, formés à l'époque de son apparition. Pourtant, elle est loin d'être utile au commun des innovateurs, qui n'ont pas accès aux informations des mouvements financiers. Elle n'est pas non plus utile pour les gestionnaires de l'innovation, préoccupés par la gestion d'un budget donné sur une période assez courte pour que les conditions extérieures de marché puissent être considérées stables. Les sources d'alimentations sont alors inchangées : c'est la même vache à lait qui leur fournira leur ressource.

Annexe 2

Sélection d'une piste d'innovation

2. Perspectives d'innovation : la Robotisation

Introduction

Sikorsky a eu l'audace de délaisser le prospère marché des hydravions sur lequel il s'était imposé pour investir dans l'industrie naissante des hélicoptères. Il a su anticiper le déclin de son ancien secteur d'activité, et déceler un nouveau secteur prometteur pour se reconvertir profitablement. Son décryptage pertinent des signes annonciateurs du changement lui ont permis s'imposer comme leader dès l'origine du marché, gagnant ainsi un avantage concurrentiel décisif. A l'inverse, Fairey n'a pas anticipé l'avènement des turbopropulseurs. Quand sa stratégie industrielle a été fragilisée par des jeux de fusions et acquisitions qui l'ont conduit à être intégré au sein de Westland, il a été incapable de discerner l'évolution de la demande pour réagir en conséquence. Le projet de Rotodyne n'a pas résisté, et la chute de la société en a été précipitée.

Pour pérenniser leur activité, et espérer prospérer les industriels doivent saisir le sens d'évolution des marchés. Il est pour cela nécessaire de questionner l'impact des nouvelles technologies qui apparaissent, car elles transforment non seulement le contexte industriel, en modifiant l'importance relative des entreprises, mais elles bousculent également les perceptions et les attentes des consommateurs. Cette démarche est d'autant plus difficile qu'elle force à repenser l'identité même de l'entreprise, en posant la question de son positionnement, de sa raison d'exister sur le marché. Il s'agit pour les industriels non seulement d'anticiper les évolutions des marchés mais de plus de le faire assez tôt pour investir à temps dans les nouveaux secteurs d'activité, et profiter de leur période d'essor. Quelles évolutions technologiques bouleversent aujourd'hui les marchés et sont susceptibles d'impacter le secteur des hélicoptères ?

Quatre évolutions technologiques s'imposent actuellement. Aussi sûrement qu'internet a bouleversé les comportements en ouvrant des espaces de communication et des accès à l'information, elles redessineront à terme le monde : les bio technologies, les nanotechnologies, les nouvelles sources de productions d'énergie et la robotisation.

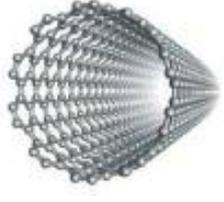
	 nanotubes		
Génétique	Nanotechnologies	Nouvelles énergies	Robotisation

Figure 7 : Tendances d'évolutions technologiques

Les recherches génétiques révolutionnent l'industrie en apportant de nouveaux modèles et en enrichissant la compréhension des mécanismes moléculaires. Leur incidence sur l'industrie hélicoptériste est indirecte et infime (elle impacte surtout le secteur médical dont les produits, clients et objectifs sont isolés de ceux du secteur aéronautique), mais cette incidence existe. Les avancées dans le domaine de bio technologie offrent en effet l'emploi de biomatériaux très prometteurs. C'est de cas notamment de nouvelles peintures (Nissan) qui utilisent les principes cicatrisantes de matériaux végétaux pour réparer les impacts de rayures, ou d'autres qui ont des propriétés antigivre grâce à leur texture en « feuille de lotus ». Cependant, malgré la volonté de respect de l'environnement et de recours aux matériaux naturels, les passerelles entre les secteurs restent marginales.

Le terme nanotechnologie est souvent improprement utilisé par les industriels, pour qualifier des techniques à l'échelle microscopique (10^{-6} et non 10^{-9}), ou dans lesquelles, les atomes déposés ne sont pas structurés. Par exemple, les techniques dites « nanolayers » sont mises au point pour améliorer les performances des pièces en les recouvrant de très fins dépôts ne relèvent pas véritablement des nanotechnologies mais le langage courant les assimile. (c'est le cas pour les couches oléophiles de balinite C permettant de diminuer le graissage des engrenages par exemple). Les nanotechnologies sont ainsi perçue plus présentes qu'elles ne le sont en réalité. Les nanotechnologies impacteront inéluctablement le secteur hélicoptériste par l'introduction de nouveau matériau. Les nanotechnologies s'inviteront à minima à travers les fournisseurs (des réservoirs, de cloisons anti-feu) qui les intègrent dans leurs produits. Les performances les plus prometteuses sont celles annoncées par les équipementiers réalisant du stockage (de gaz, de liquides, d'informations) car les nanotubes décupleront leur possibilités. La future génération de composant électronique est annoncée comme un bond technologique. Les nanotechnologies seront également appropriées par les hélicoptéristes eux-mêmes, bien que la fabrication de matériau ne soit pas directement inscrite dans leur cœur de métier. Les nouveaux matériaux sont attendus pour avoir des propriétés mécaniques (résistance...) mieux

adaptées aux contraintes des hélicoptéristes. Mais cette maîtrise augure la conception de véritables ruptures technologiques et la possibilité de se distinguer radicalement de leurs concurrents. Une butée sphérique conductrice (liaison entre le moyeu rotor et les pales) pourraient révolutionner par exemple le rotor.

Cette révolution s'inscrit dans une perspective à long terme : les nanotechnologies ne sont pas encore assez matures pour permettre la réalisation de nouveau matériau utilisé dans leur masse. Seuls les nanotubes commencent à être produits, mais ils n'atteignent pas encore une longueur suffisante pour permettre le tressage. C'est ainsi dans les laboratoires de recherche et non à un industriel qu'il incombe pour quelques années encore de suivre les avancées scientifiques. Actuellement seules des nanoparticules sont déjà utilisées par les hélicoptéristes. Injectées dans des peintures ou des matrices de composites, elles offrent de nouvelles fonctionnalités surfaciques (furtivité, étanchéité, conductivité électriques ou thermiques...). Les recherches devraient donner naissance à de nombreuses innovations dans les prochaines années. Hormis les développements technologiques eux-mêmes, le défi des nanotechnologies sera certainement de respect des contraintes d'hygiène et de sécurité. La société est déjà sensibilisée aux problèmes de santé causés par les particules en suspension (amiante...) et les effets de manipulation (découpe,...) de ces nouveaux matériaux devront être soigneusement examinés.



Figure 8 : Applications des nanotechnologies

Les évolutions du secteur énergétique ont déjà des répercussions dans celui des hélicoptères. La raréfaction annoncée des ressources pétrolières force à repenser la motorisation des appareils. Il leur faut réduire la consommation actuelle ou changer de source énergétique. Si les hélicoptéristes intègrent des éléments de production d'énergie, ils n'ont pas d'intérêts à les développer eux-mêmes. Ils n'ont pas les compétences pour accomplir les avancées chimiques indispensables à l'élaboration des nouveaux produits (biocarburant, développement des piézo-électriques, cellules photovoltaïques...). En revanche, ils ont introduit dans leur industrie depuis une vingtaine d'années la notion de performance énergétique. Elle contraint fortement la conception des ensembles mécaniques pour leur imposer des consommations spécifiques (rapport énergie réellement consommée / énergie théoriquement utile) optimales. Cette

recherche se traduit par des modifications des pièces ou par de nouvelles architectures motrices valorisant l'hybridation. Les puissances requises par les hélicoptères sont en effet très variables selon les phases de vol. Ils doivent pouvoir délivrer des puissances qui ne seront indispensables que très ponctuellement (quelques minutes au décollage, en situation d'atterrissage off shore, par vent de travers...). Le concept d'hybride suggère qu'un moteur électrique peut fournir une partie de ces pics de puissance propres à ces phases particulières pour éviter de surdimensionner les hélicoptères. Le programme de coopération Gimy a été signé par Eurocopter et Turboméca pour revisiter les implantations motrices des hélicoptères. L'hybridation entraîne au passage l'électrification de systèmes (train d'atterrissage, commande de vol...) et favorise indirectement l'utilisation de matériaux et de procédés plus respectueux de l'environnement. La réduction du poids des moteurs brushless (sans balais tournant) et l'augmentation de leur fiabilité favorise cette tendance.

Parallèlement, le développement d'énergies alternatives « propres » renforce les préoccupations environnementales des clients, contraignant les hélicoptéristes à limiter toute forme de pollution. Bien que pour l'instant, aucun client ne soit disposé à payer le surcout de produit permettant de satisfaire des ambitions écologiques à performance égales des appareils, des nouveaux produits devront être mis sur le marché à terme. Cette tendance environnementale est déjà prise en compte dans les schémas de développement des hélicoptéristes. Les répercussions sont progressives et affectent toutes les entreprises aéronautiques. Airbus a par exemple démontré la faisabilité de carburant synthétique en faisant voler un A380 dont l'un des quatre réacteurs brûlait du GPL [AIR 08]. S'il devait y avoir une rupture, elle serait le fait d'industries d'autres secteurs et bousculerait la compétition sans donner directement un avantage concurrentiel.

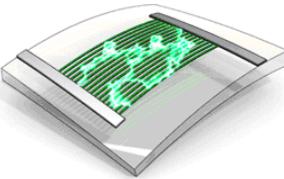
			
Moteurs brushless			
Hybridation	Piézo-électrique	photovoltaïque	LED

Figure 9 : Pistes d'évolutions énergétiques

La « robotisation » est un terme générique désignant la faculté de faire accomplir des tâches à un objet sans manipulation humaine. Tout au long du XXème siècle, les ouvriers agricoles puis des industries ont progressivement été remplacés par des machines. Dans les années 80, l'avènement de l'informatique a porté à son paroxysme les conflits hommes-machines, en

laissant craindre une concurrence frontale conduisant inéluctablement au chômage, notion que le monde découvrait. (Moins de 100 000 chômeurs en France à cette époque, contre plus de deux millions actuellement). La révolution robotique s'est pourtant imposée, personne ne pouvant ou souhaitant arrêter les progrès. Les conflits se sont déplacés sur le terrain éthique (répartition des tâches entre humains avec la mondialisation, légitimité d'utilisation des inventions...). Annoncée depuis des décennies par les livres et films de science-fiction, la robotisation s'est imposée dans l'imaginaire collectif. Elle apparaît aujourd'hui comme le prolongement naturel de la mécanisation et de l'automatisation. La société a déjà intégré cette évolution dont la présence envahit le quotidien (domotique, équipements automobiles,...).

Les robots exécutent des tâches dont la complexité varie avec le niveau d'intelligence artificielle dont ils sont dotés. Ils peuvent reproduire des opérations selon des séquences définies à l'avance, ou mettre en œuvre des règles pour choisir entre plusieurs options. La littérature distingue ainsi les notions d'automatisation et d'autonomisation, (voir paragraphe 4.1.2). L'autonomie découle du transfert de l'autorité décisionnelle au système automatisé.

La robotisation impacte déjà le secteur hélicoptériste. Historiquement, les hélicoptéristes ont commencé par fournir une assistance mécanique aux pilotes en cas de panne. Ils ont conçu des pièces capables de réguler l'ensemble dans lequel ils étaient intégrés de par leur seul fonctionnement. L'activation du circuit de secours de lubrification de la BTP est ainsi assuré par une logique hydraulique. Ils ont ensuite intégré des automatismes pour permettre au pilote de déclencher une suite d'opérations par simple pression d'un bouton en cabine. Ils cherchent actuellement à autoriser ces déclenchements sans toujours avoir à attendre l'ordre du pilote, et autonomisent ainsi leurs appareils. Lorsque cette autonomie sera suffisante, les hélicoptères, avec ou sans passagers pourront gérer les vols seuls et seront devenus des « drones ». Les drones sont des robots capables de vol. Ils nécessitent une autonomie minimale pour gérer l'imprévisibilité des conditions de vol. (S'ils n'en sont pas dotés, les engins volants sans pilote à bord sont comme de simples « modèles réduits » commandés).

La question n'est donc pas de savoir si la robotique va impacter le secteur hélicoptériste, mais plutôt quand, et comment. Cette annexe a pour objectif de présenter la tendance de robotisation de nos sociétés, selon une perspective telle qu'un hélicoptériste puisse déceler une manière profitable d'approche de ce phénomène.

2.1 Robotisation

2.1.1 Avènement de la robotisation

Si la fin du XXème siècle a été marquée par l'avènement des technologies de communication, le début du XXI-ème le sera par l'autonomisation des machines. Tous les secteurs sont concernés. Dans le domaine de la santé, les systèmes d'assistance médicalisée rendent à leur vie des accidentés qui jusqu'alors étaient condamnés (des jambes intelligentes vont permettre aux paraplégiques de se déplacer debout...). Dans la maison, des systèmes domotiques veillent seul à l'entretien (des aspirateurs sont autonomes, des cuisines peuvent déjà préparer les repas et gérer les stocks du réfrigérateur ...). Les jouets éduquent les enfants et les robots apprennent à répondre aux demandes de leurs maîtres. En entrant dans le cadre familial pour soulager le quotidien des personnes, les applications robotiques deviennent familières et sont acceptées par les consommateurs. C'est désormais une question générationnelle d'accepter ou pas le mode de vie qu'elles proposent.

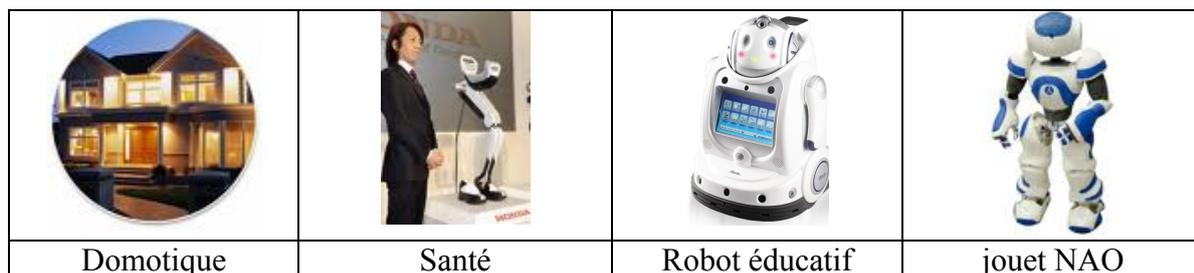


Figure 10 : Robots

Dans le secteur du transport, le phénomène est déjà présent. Les consommateurs acceptent que les véhicules se mouvant selon une trajectoire définie (dans une seule « dimension », à l'instar du métro) soient entièrement autonomes. Les déplacements des véhicules se déplaçant dans un plan (« bidimensionnels » à l'instar des voitures) soient en passe de le devenir. Les véhicules se mouvant dans l'espace (« tridimensionnels ») sont ainsi logiquement amenés à suivre la tendance et être automatisés.

En juin 2009, la RATP lance officiellement les travaux d'automatisation de la ligne 1 du métro de Paris qui consiste à rendre cette ligne sans conducteurs. Elle sera livrée début 2011. En 2008, Toyota a équipé sa Prius II d'un dispositif de créneau tout automatique, l'IPA ou Intelligent Park Assist, qui gère seul le volant pendant que le conducteur contrôle la vitesse», tandis que la même année, l'équipementier allemand Bosch a mis au point un système qui permet à un véhicule de se garer entièrement seul. Plus qu'une assistance au conducteur, le

dispositif repère une place et gère le braquage. D'autres systèmes sont étudiés pour maintenir des distances de sécurité entre véhicules sur autoroute [LAU 09]. Les avions de lignes sont équipés de pilotes automatiques de plus en plus performants, qui peuvent désormais prendre en charge tout un vol programmé. Seules les phases d'atterrissage par mauvais temps doivent encore parfois être confiées au pilote... Alors que toutes les d'industries se robotisent, les hélicoptères n'ont aucune raison d'échapper à ce phénomène.



Figure 11 : Autonomisation dans le secteur du transport

Si les véhicules ne sont pas déjà entièrement autonomes, c'est moins pour des raisons de complexités techniques que d'acceptation du marché. Leur avènement est admis, mais ils restent quelques réticences sur leur fiabilité, et leur pertinence décisionnelle. Ces réticences sont centrées principalement autour des notions de capacité de dommages et la culture :

- En termes de sécurité, le questionnement est souvent proportionnel à la puissance des systèmes à autonomiser. Ainsi, le métro sans conducteur a été admis, alors que celle du TGV ne l'est pas encore. Le déraillement d'un métro dans une gare à une heure de pointe serait pourtant tout autant meurtrier. Cependant, bien guidé par les murs de ses tunnels, le métro présente moins de risques pour l'inconscient collectif. Fondé ou non, ce raisonnement fait des puissances en vigueur dans le secteur aéronautique des obstacles à son autonomisation. La violence de l'impact d'un hélicoptère en cas de chute au sol est cause de létalité. Le caractère spectaculaire des accidents et les fréquentes phobies confortent l'idée de dangerosité.

- Culturellement, les ingénieurs ayant connu les règles à calcul préfèrent raisonner avec des ordres de grandeurs plutôt qu'avec l'aide de logiciels de calculs dont ils ne maîtrisent pas les hypothèses. Les plus jeunes peuvent être trop dépendants ou crédules vis-à-vis de l'outil informatique, mais ils sont curieux d'en exploiter toutes les potentialités. Le risque d'erreur varie avec la formation. Les nouvelles générations ont déjà intégré le recours à des systèmes robotiques, mais les décideurs restent critiques.

Ainsi deux groupes de consommateurs apparaissent dès aujourd'hui prêts pour des applications de robotique aéronautiques : ceux pour lesquels le recours à un robot permet d'éviter un risque encore plus grand et ceux qui souhaitent bénéficier d'une supériorité offerte par les applications informatiques. Le temps jouant en faveur de l'autonomisation, La

question n'est pas de savoir si la robotisation s'implantera dans l'industrie aéronautique mais de savoir à partir de quand elle créera un marché rentable et jusqu'à quand il ne sera pas trop tard pour investir et s'y implanter.

2.1.2 Automatisation et autonomie

Dès l'antiquité, des objets ont été animés. Dans l'Égypte pharaonique, des statues étaient articulées de manière à pouvoir pointer leur doigt sans manipulation humaine directe. L'horlogerie a développé plus tard ces techniques pour associer en particulier des défilés de personnages aux passages des heures, et dès le XVI^{ème} siècle, les automates ont été invités dans les salons (boîtes à musique, ...). Aujourd'hui des appareils électroniques continuent de perfectionner cet art. Ces objets dotés de mouvement ne sont pourtant pas semblables. Les concepts d'automatisation et d'autonomie les différencient.

L'automatisation est la « suppression partielle ou totale de l'intervention humaine dans l'exécution de tâches » [LAR 09], ou encore la « substitution d'une ou de plusieurs machines à l'homme pour réaliser un programme déterminé d'opérations » [CNR 09]. Un automatisme est un objet programmé et doté d'une mémoire, qui reproduit des mouvements analogues quand il rencontre des situations prédéfinies. Il exécute une séquence programmée d'opérations de manière synchronisée dans des conditions identiques

L'autonomie est la « faculté d'agir par soi-même en se donnant ses propres règles de conduite sans se laisser dominer par une autorité extérieure » [LAR 09]. Elle suppose une capacité de décision, c'est-à-dire de traduction d'un événement en action. Dans l'industrie, elle est également désignée par le vocable « autorité de commande ». Cette autorité peut être partagée entre la machine et l'utilisateur : l'autonomie est donc graduelle. Un événement étant survenu, un système peut simplement le signaler, y répondre après autorisation, ou encore choisir entre plusieurs réponses.

La robotisation est le « remplacement de l'homme ou d'une machine traditionnelle par une machine entièrement automatique pour l'accomplissement de tâches industrielles.» [CNR 09]. Un robot sélectionne de manière plus ou moins autonome des automatismes pour simuler des comportements raisonnés. A l'heure actuelle il n'invente pas de nouveaux comportements, car l'intelligence artificielle n'est pas une science encore assez mature. De plus, les industriels veulent des systèmes déterministes. Dans le secteur hélicoptériste, les robots remplacent des équipements mécaniques ou hydrauliques dont le comportement a pu être automatisé, et dialoguent pour le soulager d'une partie ou totalement le pilote de ses actions.

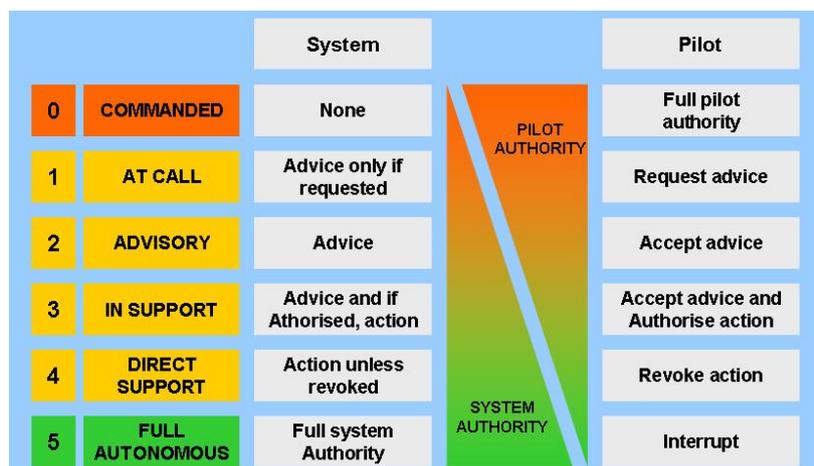


Figure 12 : Degré d'autonomie dans l'aéronautique

La littérature propose plusieurs échelles d'autonomies, (échelle Sheridan [SHE 00],...) différenciées selon la nature des interactions de l'homme avec les automatismes. Elles dépendent des définitions des concepts de communication, apprentissage, résolution de problème...selon lesquelles elles sont articulées. Eurocopter a retenu une échelle de 4 niveaux entre le contrôle total par l'homme et le contrôle total par la machine. (voir figure 6). La gradation de l'autonomie des différents systèmes permet d'envisager par étapes leur intégration jusqu'à réaliser un hélicoptère entièrement robotisé (drones). Ainsi le critère temporel d'investissement peut être visualisé par le pourcentage des fonctions des hélicoptères déjà automatisées. Actuellement, les divergences sur l'intérêt de développer le secteur avionique traduisent deux positionnements de l'hélicoptère dans le marché aéronautique. Pour certains, son attrait tient à sa capacité de vol vertical, qui le rend unique. La robotisation concerne essentiellement le développement du pilote automatique (PA). Pour rester compétitif, il faut offrir le meilleur compromis autonomie/prix. Actuellement, ce compromis est le développement d'un PA quatre axes (lacet, roulis, tangage, collectif). Ultérieurement cette politique pourra évoluer vers un partenariat avec des fournisseurs à la pointe des technologies électroniques. Pour d'autres, son atout sur le marché est sa capacité à remplir des missions particulières. La robotisation concerne non seulement toute la plateforme mais également la gestion des informations, au sol ou en vol. Pour rester attractif, il doit permettre au client d'assurer le maximum de ses travaux à un moindre coût. Il peut s'agir d'équiper une plateforme pour voler avec ou sans pilote, seule ou dans un groupe. C'est alors toute l'architecture qu'il faut repenser, et donc le centre de gravité de l'entreprise.

La difficulté est de préciser le positionnement de l'hélicoptère sur le marché pour être en mesure de construire la feuille de route industrielle. Si l'hélicoptère reste un moyen de transport, certains clients seront perdus par l'avènement des drones. Il faut se concentrer sur les autres dont les travaux nécessitent la présence humaine (transport de passagers, évacuation

sanitaire...) et accroître leur nombre. La priorité est donnée à la recherche de diminution des coûts et d'amélioration des performances de vol (consommation, distance franchissable, vitesse, charge utile, ergonomie pour les passagers ...). La mécanique reste le cœur de l'entreprise. Si nécessaire, les équipements robotiques pourront être achetés comme fournitures. Si l'hélicoptère devient un outil mission, il faut se concentrer sur l'intégration des nouvelles fonctions autonomes pouvant se substituer partiellement ou occasionnellement à un pilote. La priorité est donnée à la cohérence de fonctionnement des différents systèmes. L'avionique s'invite dans les développements de composants mécaniques pour imposer des contraintes d'implantation de dispositifs de mesures et de commandes. Les conceptions d'équipements robotiques doivent commencer au plus tôt pour assurer à leurs propriétaires la mise sur le marché d'appareils aux performances uniques.

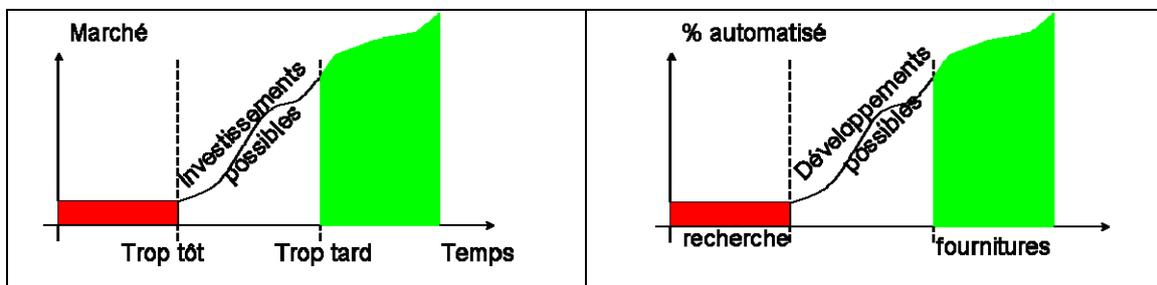


Figure 13 : Repères temporels et technologiques

2.2 Robotisation dans l'aéronautique

Les avancées dans les domaines électroniques, informatiques et surtout mécatroniques affectent directement les hélicoptéristes en ouvrant de nouvelles perspectives. Les performances de leur nouveaux appareils et les services qu'ils peuvent désormais développer sont amplifiés par les communications dont sont capables les systèmes de leurs appareils. Les industriels ont déjà commencé à développer ces nouvelles compétences.

Les drones sont des robots aéronautiques. Ils vont arriver prochainement dans l'espace aérien pour remplir nombre de missions jusqu'alors assurées par les hélicoptères (voir chapitre 1). L'abandon de missions hélicoptères à leur profit sera la conséquence d'une situation de concurrence frontale. Cependant, pour ne pas perdre de parts de marché, les aéronefs peuvent offrir au client la possibilité de raisonner autrement qu'en termes de choix exclusifs. Les hélicoptères peuvent changer d'optique en jouant sur les degrés d'autonomie et passer d'une logique de confrontation à une logique d'association drones-hélicoptères.

2.2.1 Classification des drones

Les drones existants se différencient en fonction de leur taille, de leur rayon d'action, de la portée et de l'altitude d'opération, de leur capacité de décision autonome. Il n'existe pas de classification réglementaire des drones. Ils sont souvent distingués dans la littérature en fonction de l'objectif du texte. Les auteurs peuvent différencier les drones maritimes, les drones intérieurs, les drones capables de stationnaires...

classification	Envergure m	Poids kg	Portée km	Vitesse Km/h	Endurance hr	Altitude km	Mission
Miniatures	0,1 à 1	0,1 à 100	10	50	0,1 à 1 hr	0 à 0,2	Surveillance, inspection, relais
Combat	5 à 15	< 1000	30 à 500	150 à 700	5 à 10	0,2 à 5	Combat, destruction
MALE	10 à 20				10 à 24	5 à 10	Surveillance acquisition
HALE	30 à 40				24 à 36	10 à 20	Reconnaissance stratégique

Figure 14 : une classification des drones

La classification retenue dans cette présentation est ordonnée selon un critère d'encombrement. Cette classification fait sens car leur performance et leurs missions en dépendent souvent. Les critères de choix des équipements des drones sont liés à leurs rapports relatifs de taille et de masse. L'emport d'une caméra peut contraindre à limiter le carburant ou

les batteries sur un drone miniatures, mais sera insensible sur d'autres. Les missions imposent la taille des drones en nécessitant le recours à des équipements spécifiques. (Remarque : quelles que soient leurs formules, l'indice constructif des drones ne dépasse généralement pas 0,5, c'est -à-dire que les drones ne peuvent embarquer plus de la moitié de leur poids en équipement.).

- Les **drones miniatures** : Leur envergure varie de quelques centimètres à 1 mètre. Les micro-drones, dont les dimensions sont inférieures à 15 cm, pèsent environ 50 grammes, atteignent une vitesse de croisière de l'ordre de 50 Km/h, et ont une autonomie d'une vingtaine de minutes pour un rayon d'action d'une dizaine de kilomètres. Les plus grands ont des performances similaires, à l'exception de l'autonomie qui peut atteindre une heure quand leurs réserves en carburant sont étendues.

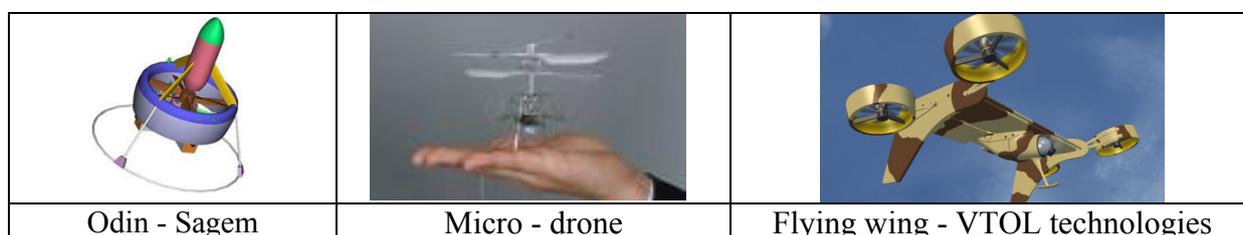


Figure 15 : Drones miniatures

- Les **drones de combat** : Ils sont souvent désignés par l'acronyme UACV (Unmanned Combat Aerial Vehicle). Ces drones représentent une catégorie intermédiaire aux performances variées. Ils sont de véritables répliques d'aéronefs non pilotés, dont ils surpassent les performances puisqu'ils ne sont plus limités par les contraintes physiologiques des pilotes. Cependant la gestion déportée de l'armement relèvent encore actuellement de la prospective industrielle et opérationnelle. L'identification et la désignation des cibles, l'orientation et les corrections des trajectoires de vol après des saisies et analyse d'informations en temps réel sont encore trop complexes pour leur permettre de suivre l'évolution de la situation au sol assez précisément pour saisir des opportunités de tirs ou anticiper des manœuvre de dégagement. Un drone américain « Predator » a toutefois tiré à plusieurs reprises des missiles antichars Hellfire et antiaériens Stinger en Afghanistan.



Figure 16 : Drones de combat

- Les **drones MALE et HALE** : Ces acronymes désignent les drones de Moyenne Altitude et Longue Endurance et ceux de Haute Altitude et Longue Endurance.

A priori, cette catégorie de drones est celle qui couvre la plus large palette de missions. En effet, avec des durées de vol comprises entre 12 et 48 heures, ces «grands» drones sont dimensionnés par la charge utile et la quantité élevée de carburant nécessaire à leur mission. Plus ils volent haut, plus ils vont vite et parcourent de la distance.



Figure 17 : Drones MALE et HALE

2.2.2 Confrontation Dornes – Hélicoptères

De nombreux drones sont conçus par reproduction de formules d'appareils déjà testées par les avions ou hélicoptères (VS750, X45...) Ils évitent en les imitant de devoir valider de nouveaux comportements aérodynamiques. Ils se différencient de leur modèle en optimisant pour le vol la forme de leur enveloppe externe, grâce à la place laissée vacante par les humains. Ils présentent ainsi plusieurs avantages ::

- Ils sont moins chers : leur conception en est facilitée par la levée des contraintes d'embarquement de personnes (verrière, portes, espace cabine, siège, instruments de bord, climatisation ...). et leur prix réduit d'autant.
- Leur domaine de vol peut être étendu (extension des limites de facteurs de charge, de températures, de pollution de l'air...).
- Ils sont plus silencieux car leur forme aérodynamique peut être optimisée.
- Ils sont moins encombrants ce qui facilite leur stockage.
- Ils sont toujours disponibles.
- Ils peuvent être jetables. leur conception peut omettre les fonctions de retour (suppression du train d'atterrissage,...).

Ces caractéristiques les imposent sur toutes les missions « 3D » (Dull, Dirty, Dangerous), c'est-à-dire trop répétitives ou longues pour que les capacités du pilote soient maintenues, dans des environnements trop pollués ou trop hostiles. Ainsi de nombreuses missions de surveillance de non variation d'une image fixe (recherche de trace de pollution maritime,...) seront-elles à terme confiées de préférence à des drones capables d'une assiduité constante sur

du long terme, tout comme celles d'observations en zones contaminées, ou trop agressifs. Le caractère jetable leur ouvre une panoplie de missions inappropriées aux hélicoptères, militaires en particulier. Les hélicoptères ne pourront pas lutter sur ces missions, car ce sont les capacités humaines qui sont challengées par les drones. Actuellement, ils ne sont pas encore assez fiables pour les remplir, et l'espace aérien n'est pas prêt réglementairement pour les accueillir. Ces problèmes devraient être résolus à court terme (quelques années) car la plupart des technologies ont déjà dépassé TRL6 (validation d'un prototype dans un environnement réel). Déjà, un drone MQ-8 Fire Scout de l'US Army a détecté une intrusion dans les eaux territoriales et poursuivi le contrevenant lors d'un vol de test en avril 2010.

Les performances humaines étant en cause, les hélicoptères habités s'imposent en revanche dans les missions pour lesquelles le contact, l'inventivité ou la pertinence humaine ne sont pas imitables (évacuation sanitaire, observation à caractère stratégique, impossibilité de prévision des événements...). Le prix d'exploitation peut être maintenu acceptable indirectement par les jeux d'assurance. Cependant à plus long terme, les progrès de l'intelligence artificielle réduiront inexorablement le champ d'action réservé aux seuls hélicoptères habités.

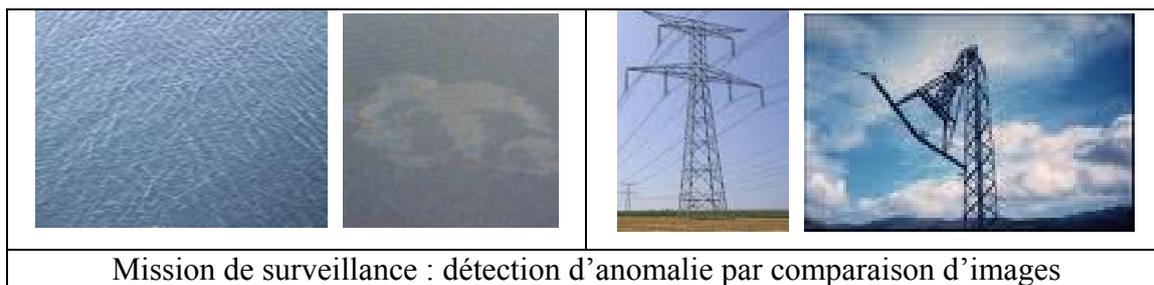


Figure 18 : missions de type « Dull »

2.2.3 Collaboration Dornes – Hélicoptères

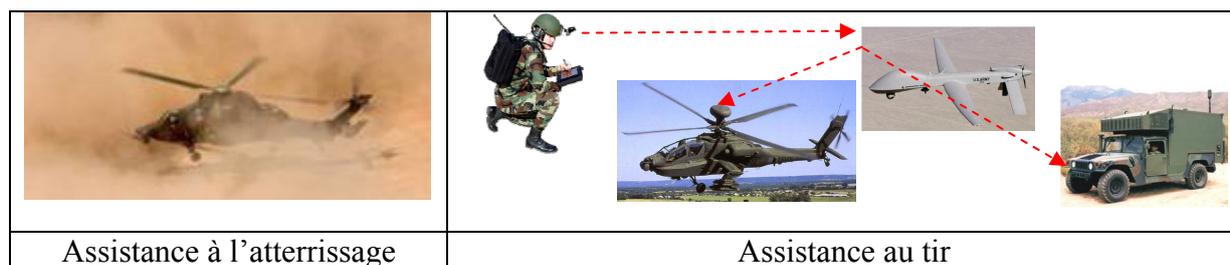
La concurrence entre les deux types d'appareils peut ne pas être frontale. Les constructeurs, et leurs clients, peuvent raisonner selon une logique qui ne leur impose pas à choisir entre les deux produits. Les drones peuvent être pensés non comme une alternative aux hélicoptères mais comme un équipement ou un partenaire. La confrontation peut ainsi être perçue comme une collaboration à trois niveaux :

- Technologique : la gradation de l'autonomie permet aux constructeurs de développer conjointement les deux produits au travers d'applications communes. Les drones et les hélicoptères peuvent partager les mêmes séquences automatisées de leurs systèmes de gestion du véhicule, en phase de préparation du vol (détermination automatique du centrage, parcours de check-list, vérification du bon fonctionnement des alarmes...), en vol (reconfiguration du système en cas de panne, de nouveau plan de vol...) et en maintenance (surveillances adaptées aux conditions dans lesquelles se sont déroulées les vols...). Si de nombreuses

problématiques mécaniques sont distinctes, des avancées technologiques communes profitent aux drones et aux hélicoptères.

- Commercial : l'autonomie par fonction peut permettre au client de sélectionner et de composer le meilleur des deux appareils en fonction de ses missions. Des modules robotisés peuvent venir assister ponctuellement le pilotage (mesure de la position de l'hélicoptère, évaluation de la zone d'atterrissage, transmission de données, gestion du fret...). La robotisation d'une fonction peut devenir un argument de vente d'un hélicoptère. Un client peut être convaincu de son achat seulement s'il est assisté pendant les phases qu'il juge trop dangereuses (atterrissage sur le sable...), ou peu performantes (repérage visuel...).

- Stratégique : l'acquisition des deux appareils permet d'étendre les possibilités missions au delà du simple cumul de celles qu'ils réalisent individuellement. L'hélicoptère peut transporter sur son terrain de mission les drones ne pouvant franchir de longues distances, des drones peuvent voler en formation avec d'autres appareils dont les hélicoptères pour offrir leur force en combat. Les armées étudient déjà des tactiques offertes par l'insertion de drones et leur interopérabilité (communication de divers systèmes entre eux) [BOA 00]



Cette logique de collaboration permet de contourner la compétition directe entre les appareils pour réaliser les missions existantes. Elle crée de nouvelles attentes (confort, assistance...) et élargit le marché en étendant le spectre des missions. Trois perspectives d'évolutions s'ouvrent aux hélicoptères :

- Des hélicoptères partiellement autonomisés
- Des hélicoptères totalement autonomisés mais pilotable occasionnellement
- Des hélicoptères opérant avec des drones

- **Des hélicoptères partiellement autonomisés (intelligents)**

Partiellement contrôlés en navigation / en mission / en communication, les hélicoptères peuvent assister le pilote grâce à leur système avionique plus ou moins intelligent selon les fonctions. Ils sont capables d'accomplir un grand nombre de tâches automatisées, et sont

capables d'éventuelles prises de décisions. Ils permettent au pilote humain de se concentrer autant qu'il le désire sur l'objectif de la mission nécessitant sa présence à bord.

Pour qui ne regarde pas le système, ces appareils sont des hélicoptères actuels dont l'utilisation a été simplifiée (en fait automatisée). C'est au client de choisir la charge et les fonctions dont il veut être soulagé. L'attrait des hélicoptères partiellement automatisé est le confort et la sécurité supplémentaire qu'ils offrent aux clients traditionnels. La formation pouvant être simplifiée, de nouveaux clients freinés par l'acquisition des techniques de pilotage pourraient devenir des acquéreurs potentiels.

- **Des hélicoptères totalement automatisés mais pilotable occasionnellement**

Certains appareils, souvent désignés par le sigle « OPV » (Optionally Piloted Vehicle) peuvent opérer au choix en tant que drones ou hélicoptères. Pour les clients ils combinent les avantages des deux types pour être toujours au mieux adaptés à leur mission. Ils offrent également une protection au pilote qui peut éventuellement céder son rôle en cours de vol s'il en éprouve le besoin (concentration sur un autre aspect de la mission, incapacité physique à la continuer...). Cet aspect intéresse en particulier les militaires, ayant un « pilote de secours » en cas de nécessité. Pour les constructeurs ils offrent l'intérêt de commencer à commercialiser des drones sans attendre les autorisations réglementaires, le pilote humain assurant le contrôle du vol pour l'instant.

- **Des drones et des formations de plusieurs types d'appareils**

De même que l'apparition V22 permet d'inventer de nouvelles tactiques militaires, intégrant sa supériorité de vitesse, l'avènement des drones offre la possibilité de bénéficier de nouvelles stratégies opérationnelles ou commerciales. Les communications permettant les vols en formation des drones n'ont pas atteint le stade industriel mais elles laissent déjà entrevoir des domaines d'emplois inaccessible par des appareils classiques (optimisation du quadrillage des zones de recherches, relais en zones montagneuse...).

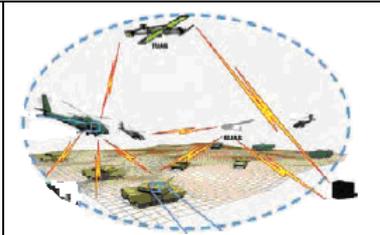
		
<p>Automatisation partielle (EC 155)</p>	<p>Pilotage occasionnel (Boeing OH-6 « little bird »)</p>	<p>Interopérabilité</p>

Figure 19 : pistes de collaborations drones - hélicoptères

2.2.4 Etat de l'art

Technologiquement, un hélicoptère est constitué par deux parties : le véhicule et l'avionique. Le véhicule est la plateforme physique qui permet le vol. Il comprend les ensembles mécaniques et leur système de commande et/ou de régulation). L'avionique, dont le nom provient de AVIation electRONIQUE, est l'ensemble des équipements électroniques permettant l'exécution de la mission. Le système avionique a pour fonction d'assister le pilotage, de faciliter la perception de l'environnement (de nuit ou par mauvais temps) et la navigation, de gérer le véhicule voire de le protéger (militaire), et de lui permettre de communiquer. Ces fonctions primaires sont ensuite intégrées à plus haut niveau (interface homme machine, gestion de paramètres mission...) pour l'élaboration d'outils plus complexes permettant à leur tour de gérer des opérations (SAR, surveillance...). Actuellement, l'avionique représente environ un tiers de poids de la machine mais concentre plus de la moitié de sa valeur pour les clients.

La robotisation dans un hélicoptère est le développement de son système avionique. Elle le fait évoluer à plusieurs niveaux. Elle incorpore de nouveaux équipements (plus intelligents ou actionnables) d'une part. De l'autre, elle intègre de nouveaux développements informatiques pour gérer des fonctions de plus en plus complexes, permis par l'acquisition de données issues de l'automatisation du véhicule.

- **Composition du système avionique d'un hélicoptère**

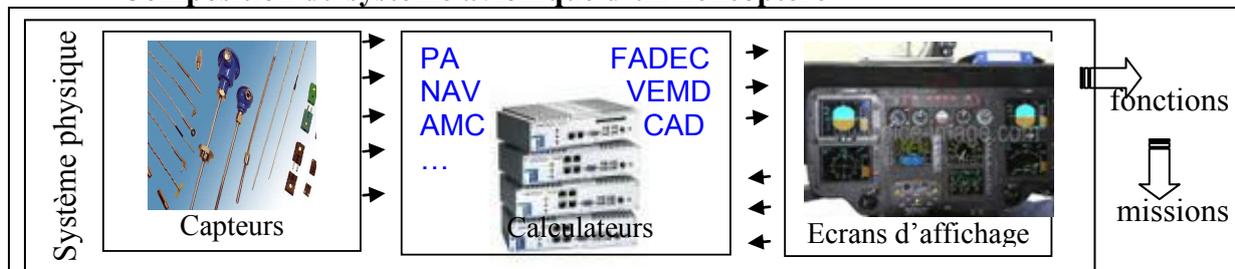


Figure 20 : système avionique classique

Un système avionique classique est composé d'un ensemble d'équipements physiques (sonar, radar, toutes sortes de capteurs, calculateurs, écrans...) et de programmes d'intégrations des données et des fonctions (logiciels d'analyse, code de calcul...).

Les capteurs recueillent des données physiques très variées (pression, température,...) qui alimentent un ou plusieurs calculateurs : en général ceux du système de navigation (positionnement), du pilote automatique (corrections par rapport à une trajectoire), du FADEC (régulation du moteur), du VEMD (système carburant et circuit électrique), de l'AMC (surveillance des paramètres machine) et du CAD (gestion des alertes). Les différents calculateurs alimentent à leur tour des systèmes d'affichages (écrans...), dans le cockpit pour

informer les pilotes ou dans des endroits accessibles depuis l'extérieur pour les informations de maintenance. Il peut y en avoir d'autres selon les missions pour lesquelles les hélicoptères sont conçus (gestion d'armement, détection,...).

Les liens physiques reliant ces objets entre eux varient d'un hélicoptère à l'autre. Ils découlent de la logique de conception du réseau (son architecture). Il existe deux grands types d'architectures, centralisée et fédérée, qui se traduisent par des câblages différents des équipements physiques entre eux. Eurocopter a développé une architecture « par bloc » pour éviter d'impacter l'ensemble de l'avionique quand un équipement doit être changé, mais seulement le « bloc », ou ensemble d'équipement proches, dans lequel il se trouve (nouvelle avionique) [IMA 97].

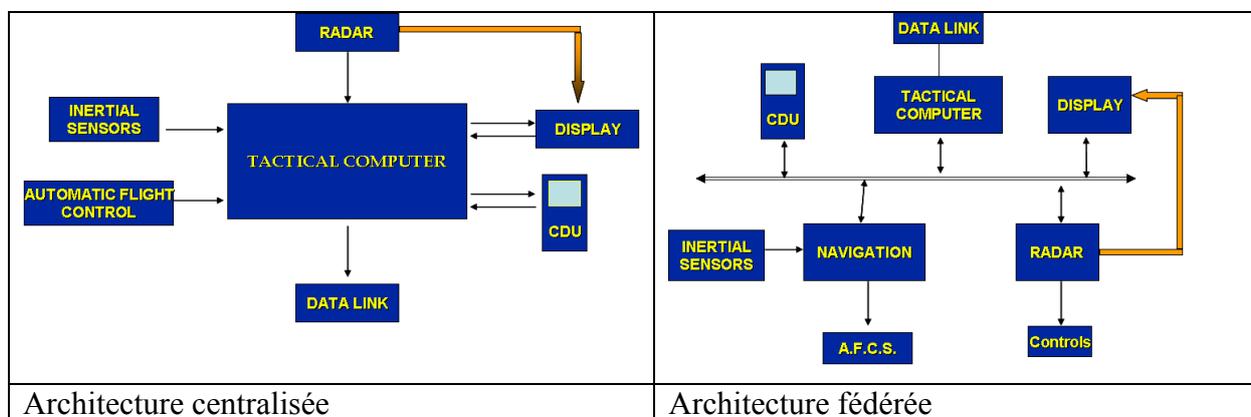


Figure 21 : architecture d'avionique

- **Fonctions du système avionique**

L'avionique gère l'ensemble des fonctions permettant l'exécution de la mission. Elles sont regroupées en quatre grandes catégories, maintenance, pilotage, navigation et mission, auxquelles correspondent quatre parties du système : VMS (Vehicule Monitoring System), AFCS (Automated Flight Control System), FMS (Flight Management System) et MMS (Mission Management System). La partie VMS a pour objectifs de faciliter la maintenance, d'améliorer la sécurité en prévenant des pannes mécaniques et le confort vibratoire des vols, et enfin d'optimiser les performances énergétiques. Actuellement, les efforts sont concentrés essentiellement sur le contrôle des paramètres moteurs (FADEC- Full Authority Digital Engine Control) ou vibratoires (HUMS - Health Unit Monitoring System). Les recherches visent également à suivre en temps réel l'état des pièces. Les changer au fur et à mesure permet aux clients d'améliorer leur sécurité et d'élargir la plage de disponibilité de leurs appareils, en évitant les immobilisations inopinées et les longues inspections périodiques. Le développement de la partie VMS se traduit par ailleurs par une automatisation de la structure et des ensembles dynamiques.

L'automatisation de la structure consiste essentiellement à anticiper l'apparition de criques dans les zones d'introduction des efforts. Des systèmes de détection à base de fibre optique ou de laque d'argent permettent de contrôler les zones d'attaches des trains d'atterrissage, des ensembles dynamiques, de la poutre de queue, de l'empennage... L'interruption du signal (optique ou courant électrique) signale l'apparition d'une crique.

L'automatisation des ensembles mécaniques sont aujourd'hui essentiellement optroniques. Des capteurs « intelligents » sont insérés directement dans les pièces. Non seulement ils sont capables de surveiller leur fonctionnement, mais ils peuvent détecter des erreurs dans les informations qu'ils recueillent. L'EC175 est ainsi doté d'un bouchon magnétique analysant la qualité de l'huile de la BTP par comptage des particules contenues. Il évalue non seulement la qualité de l'huile, mais aussi la pertinence des informations qu'il traite. Il peut demander à un boîtier de maintenance de préparer une future vidange ou lui suggérer son remplacement s'il se juge défaillant. Des capteurs analogues sont insérés dans des roulements, des engrenages et nombreuses pièces mécaniques pour surveiller au plus près les ensembles. La fiabilité des informations et la rapidité de leur transmission permettra à terme d'augmenter la capacité des appareils à diagnostiquer seuls les pannes.

Enfin l'automatisation de nombre d'équipements améliore la sécurité des appareils en augmentant la survivabilité en cas de crash (sortie automatique des trains d'atterrissage, gonflement anticipé d'airbags, largage des hublots ...)

La partie AFCS a pour objectif de traduire physiquement les intentions de l'autorité décisionnelle (actuellement le pilote) ainsi que la gestion des trajectoires de l'appareil. Elle est reliée d'une part à des capteurs, aux commandes physiques (manches ou palonniers..), et à des actionneurs capables d'animer les commandes de vol par l'intermédiaire du sema ou du trim. Elle dirige les efforts d'innovation vers l'électrification des commandes de vol pour les rendre plus aisément contrôlables. L'automatisation des vols est souvent réduite au Pilote Automatique (PA) 4 axes (roulis, lacet, tangage, collectif). Le système AFCS est relié d'autre part à divers calculateurs et équipements pour récupérer les informations qui lui sont nécessaires à la tenue de l'appareil. Dans un mode de base, il assure des fonctions de stabilisation de la machine. Il active le vérin sema pour que l'assiette ou l'altitude soient tenue à court et long terme, que le pilote ait ou non les mains sur les commandes. Dans un mode supérieur, il assure la tenue d'objectif comme le maintien de cap, de hauteur sol, de vitesse verticale...Le système AFCS a également une fonction sécuritaire de « passivation » des pannes, c'est-à-dire la capacité d'omettre certaines informations qui lui sont remontées et de ne traiter que les plus pertinentes Il analyse les pannes de capteurs pour contrôler leur bon

fonctionnement, et omet leur information lors que ce contrôle échoue. Il se reconfigure alors pour ne travailler qu'à partir des données fournies par les capteurs sains, et évite ainsi la manipulation d'informations erronées.

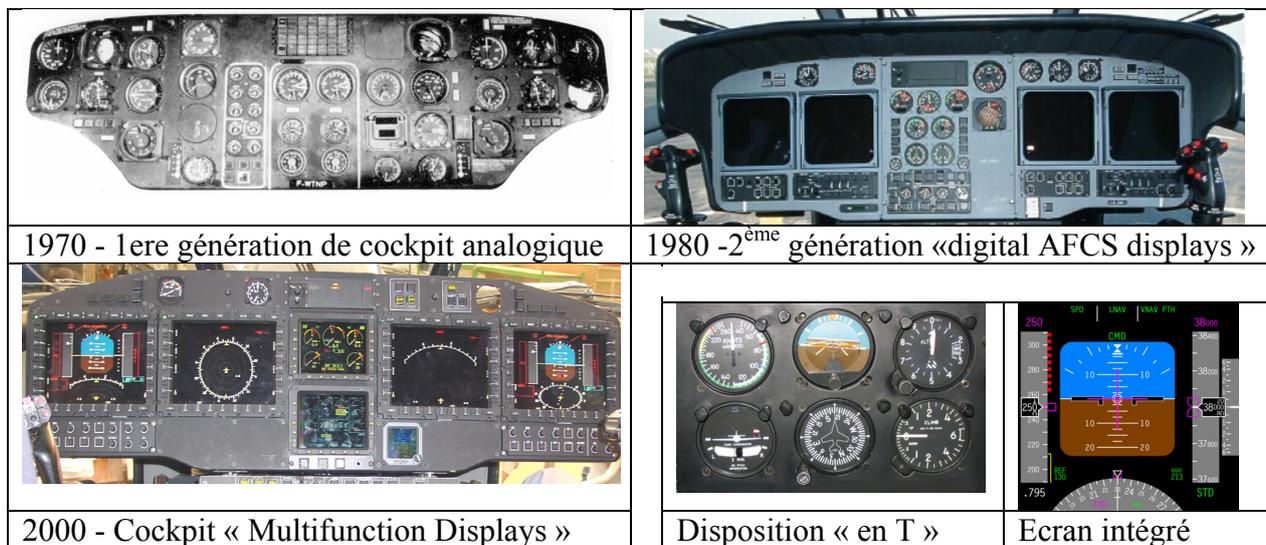


Figure 22 : évolution du FMS

La partie FMS a pour objectif de fournir à l'autorité décisionnelle les informations permettant la compréhension de son environnement. Elle gère les écrans d'affichage pour communiquer avec le pilote, renvoie les informations utiles au PA. Historiquement elle a commencé par transmettre les paramètres de vol, quand les instruments électromécaniques ont été remplacés par des instruments analogiques. Ils ont été par la suite intégrés dans un même écran. Actuellement les écrans permettent l'affichage de pages différentes, permettant au pilote de gérer plusieurs types d'informations (navigation, les dégradations des systèmes ou du véhicule...). Le FMS est le système par lequel transitent le plus de données.

La partie MMS a pour objectif de fournir une aide au pilote pour assurer sa mission. Elle l'assiste dans la navigation et dans la gestion des équipements. Le calculateur mission est lié aux écrans d'affichage auquel il communique les indications cartographiques, et environnementales nécessaires. Le calculateur est composé à minima de quatre partitions logicielles hébergeant les fonctions essentielles : La cartographie est donnée par le DMAP (Digital Map Display System), les cartes des terrains par EFB (Environmental Flight Bag), les alertes de leurs modifications temporaires par TAWS (Terrain Awareness and Warning System), et les renseignements pour le suivi de trajectoire par le SVS (Synthetic Vision System). Des fonctions complémentaires (détection de câbles...) peuvent éventuellement les compléter.

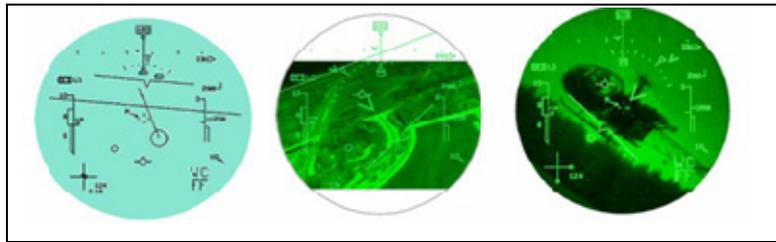


Figure 23 : aide à la navigation

Le système avionique est limité par la précision des capteurs et la charge de calcul des calculateurs. Les données doivent être traitées suffisamment rapidement pour que l'appareil ait le temps de corriger ce qui doit l'être pour rester en vol. La vitesse de calcul dépend en partie de l'espace de stockage et de la qualité du traitement des données, mais également par la longueur des boucles d'échanges entre les différents systèmes. L'architecture générale du système avionique doit non seulement assurer une manutention simple de ses composants (échange d'un équipement obsolète par un plus performant rapide), mais il doit aussi veiller à optimiser les échanges d'informations. La complexité vient de la multitude des entrées/ sorties de chaque équipement (environ 24000 actuellement sur un seul PA). Les défis futurs sont de développer de nouvelles fonctions et d'optimiser l'architecture.

	Déjà démontré (>TRL6)	En préparation (TRL 4 ou 5)
VMS	Enregistrement des paramètres véhicule pour le rejeu du vol	Suivi au sol des paramètres du véhicule
AFCS	Atterrissage et décollage sur terrain plat	Atterrissage et décollage par mauvais temps, sur terrain pentu ou mobile
FMS	Suivi d'un plan de vol programmé	Mise à jour du plan de vol par l'hélicoptère en situation d'urgence
MMS		Contrôle de la navigation au sol

Figure 24 : exemples d'étapes prochaines d'autonomisation

- **Partition sol/air du système avionique**

Le système avionique peut être scindé en deux parties: une aéroportée, l'autre restant au sol. Ce découpage est défini par la maturité des technologies des différents équipements, mais surtout par le type de missions et l'intérêt économique, les systèmes embarqués étant beaucoup plus onéreux que leurs correspondants terrestres. La littérature sur les drones exprime sous forme de segment la répartition sol / aéroportée. Le segment Air regroupe le véhicule, sa charge utile, les parties du système avionique rassemblant les informations du véhicule et le rendant capable de transmission. Le segment sol regroupe tous les composants non indispensables au vol. Il peut s'agir de systèmes de décollage (lanceurs, catapultes..) ou d'atterrissage (récupération dans des filets...), des parties du système avionique capable de

recevoir éventuellement de décrypter, puis d'analyser les informations en provenance des capteurs, la prise de décision permettant d'intervenir, l'enregistrement ou l'archivage des données.

segment	Propulsion	Cdv	Communication	Navigation	Structure
Air	Vol	Animation des commandes	Réception Transmission	Positionnement	Urgence
Sol	Décollage, Atterrissage	Ordre d'animation	Analyse Décision d'action Enregistrement	Calcul de la route Choix de la route Visualisation	Analyse Alarme

Figure 25 : exemple de découpage des segments sol et air

Ce découpage force à parler de « systèmes de drones », plutôt que de drone, car les équipements peuvent être géographiquement séparés. De même, les OPV ou les hélicoptères intelligents ont une partie sol, permettant à minima leur maintenance. Les « hélicoptères » ne peuvent plus être réduits à leur partie capable de vol, mais sont l'ensemble des moyens permettant à cette partie d'accomplir sa mission. L'interface homme-véhicule (cockpit) s'étend. Les communications véhicule-station, station-station en cas de vol en formation et station-homme doivent être gérées simultanément pour permettre au système d'être cohérent. Actuellement il est économiquement profitable de laisser au sol le plus de fonctions possibles. Les recherches se concentrent sur le développement des systèmes de communication entre le véhicule et les stations sol. Dès que les logiciels seront certifiés et les matériels hardwares suffisamment miniaturisés, il sera par contre souhaitable d'aéroporter certaines stations, pour transférer au véhicule les centres décisionnels. En attendant cette étape, les efforts consistent à automatiser le plus de tâches possibles. Dès 2008, un EC 155 d'Eurocopter a décollé, a rejoint un point d'entrée a parcouru une trajectoire d'hippodrome puis a atterri sans intervention du pilote, présent à bord par simple précaution. De nombreux systèmes robotisés sont techniquement suffisamment matures pour que leur industrialisation soit envisagée pour Eurocopter d'ici 2012 (assistance à l'atterrissage,...).



Figure 26 : Différents types de stations du segment sol

2.2.5 Concurrence

La piste d'hélicoptères autonomisés est la plus suivie actuellement. Elle impose l'automatisation progressive, et les innovations sont perçues comme des améliorations de l'existant quand bien même techniquement elles peuvent relever de véritables ruptures. Suivre cette piste permet de développer progressivement les hélicoptères occasionnellement pilotés sans attendre que le marché et la réglementation soit prêts pour eux. Un appareil répartissant la charge de travail dans une proportion 90% -10 % entre le drone et l'humain semble être une solution intermédiaire industriellement et commercialement viable. Le manque de robustesse des systèmes avioniques actuels, l'absence d'autorisation pour circuler dans les espaces aériens règlementés et les lacunes en vue des certifications peuvent être évitées avec la présence de pilotes gardant la possibilité de reprendre les commandes.

		
Northrop Grumman MQ 8	Boeing AT160 cargo	OPV Kaman K-Max
		
PICADOR : Israeli Aeronautics Defense Systems	MULE – Urban aero Drone ambulance	OPV Sikorsky Black Hawk (encore en développement)

Figure 27 : quelques produits de la concurrence en 2010

Tous les concurrents développent actuellement des prototypes d'hélicoptères robotisés. Les constructeurs américains sont les plus avancés car ils bénéficient de crédits de recherche de leur armée. Sikorsky autonomise son Black Hawk pour lui permettre de voler sans pilote. L'entreprise a investi dans cette voie 1B\$ en 2009. Boeing a délaissé la partie véhicule des hélicoptères pour faire de l'intégration système son cœur de métier. Le constructeur privilégie les applications drones. Il a déjà finalisé plusieurs prototypes, qui commencent à être en activité pour des missions de surveillance (OH-6) ou de transport de fret (AT160). Northrop Grumman a déjà démontré le transport et le largage de fret par son drone K-Max. Plusieurs drones, dont le Predator, ont déjà été testés avec succès en situation réelle de combat, notamment en Afghanistan. Les israéliens ont développé des drones très avancés (le Picador pour la surveillance et l'interception et le Mule pour le cargo). EADS a collaboré avec la

société israélienne IAI heron pour fournir à l'armée française un peu distancée des drones MALE baptisés « Harphang », actuellement en fonction en Afghanistan.

Les seuils d'entrées sur le marché des drones sont moins élevés que ceux des hélicoptères. De plus, des entreprises d'électronique (Yamaha...) surfent sur la vague de robotisation pour étendre leur clientèle et pénétre la sphère aéronautique. La concurrence ne devrait pas être limitée aux seuls hélicoptéristes. En maîtrisant les paramètres de vol, ils ont toutefois des avantages indéniables, mais pourraient être gênés rapidement par des brevets « incontournables » d'entreprises voulant s'imposer comme leurs fournisseurs ou leurs partenaires. Actuellement, aucun systémier n'est capable d'intégrer l'avionique en place d'Eurocopter. Cependant, sans protection de la propriété intellectuelle l'entreprise pourraient être en compétition avec ses anciens fournisseurs.

Le marché des drones miniatures échappe aux constructeurs aéronautiques traditionnels. De petites start'up sont capables de développer rapidement des appareils miniatures intégrant les dernière technologies numériques grand public (navigation depuis son i-phone...). Les appareils ne sont évidemment pas en concurrence directe avec les hélicoptères, cependant ils commencent déjà à leur prendre des part de marché pour des missions « simples » (prise de photographies aériennes, ...) qui privent les opérateurs traditionnels d'autant de sources de revenus possible et diminuent le marché des hélicoptères.



Figure 28 : Capture d'une part de marché par une concurrence indirecte

La compétition pour la robotisation a déjà commencé. Les constructeurs peuvent désormais s'interroger sur les conséquences de leur retard sur le marché. La quantité de brevets déposés évolue de manière considérable et chaque mois de nouveaux tests sont réussis par les nombreux prototypes. La robotisation de l'aéronautique a déjà commencé. Les clients militaires américains sont les premiers, mais symétrie de forces obligent, d'autres les rejoindront. Les questions étaient de savoir quand investir et comment se positionner. La concurrence ayant déjà commencé, il est déjà temps d'investir. Savoir à partir de quand il sera trop tard pour le faire revient à savoir quand un hélicoptériste sera bloqué ou dépendant d'une entreprise possédant déjà les brevets. Savoir comment se positionner revient à déterminer une logique de collaboration entre les drones et les hélicoptères. Dans ces conditions, le premier hélicoptériste à trouver un marché accessible sera gagnant.

2.3 Opportunités

Etant entendu que la robotisation de l'hélicoptère a déjà commencé et qu'il est temps d'investir, quelle logique de collaboration drone-hélicoptère bâtir pour entrer dans la compétition? Les hélicoptéristes ont les compétences pour y accéder. Il ne s'agit pas d'acquérir un nouveau savoir mais de valoriser le leur et de le faire évoluer. Cette partie analyse les pistes de développement envisageables par un hélicoptériste pour en dégager les plus profitables, au regard du marché actuel et du contexte politique et économique. Pour qu'une logique industrielle soit viable, il faut non seulement que les axes de développement soit rentables, mais également que les conditions des projets soient favorables. La réussite des projets d'innovation étant conditionnée par la motivation des personnes, cette partie analyse enfin les freins induits par ce changement culturel.

2.2.1 Faisabilité industrielle

Bâtir une logique industrielle nécessite d'identifier les parties robotisées dans lesquelles l'expérience du constructeur peut être valorisée et celles qu'il ne peut laisser aux fournisseurs sous peine de devenir à terme dépendant.

- **Externalisation et répartition des responsabilités**

Quelle valeur ajoutée un hélicoptériste peut-il apporter dans un projet d'appareils robotisés ?

Les hélicoptéristes possèdent déjà les compétences aéronautiques nécessaires à la maîtrise des paramètres de vol.

- Les hélicoptéristes possèdent déjà les moyens industriels (plateforme et avionique) utilisables sous réserve d'adaptation aux drones. Ils n'ont que peu de frais d'équipements à amortir, ce qui les rend financièrement plus compétitifs que d'autres industriels.

- Les hélicoptéristes possèdent déjà de nombreux composants (mécaniques ou avioniques) des drones car au-delà d'une certaine taille, ce sont ceux utilisés par les hélicoptères eux-mêmes. Ainsi les hélicoptéristes possèdent déjà des pales, des ensembles mécaniques, des logiciels de gestion d'atterrissage qui peuvent entrer dans l'assemblage d'un drone. Les frais de conception en sont d'autant diminués.

- La plupart des drones actuels ont été développés sans réelle règle de certification. Il en résulte que ces appareils sont peu optimisés et peu fiables. Les plateformes sont en particulier les éléments pauvres de beaucoup de systèmes de drones. Les hélicoptéristes maîtrisent les contraintes réglementaires et disposent déjà de composants certifiés.

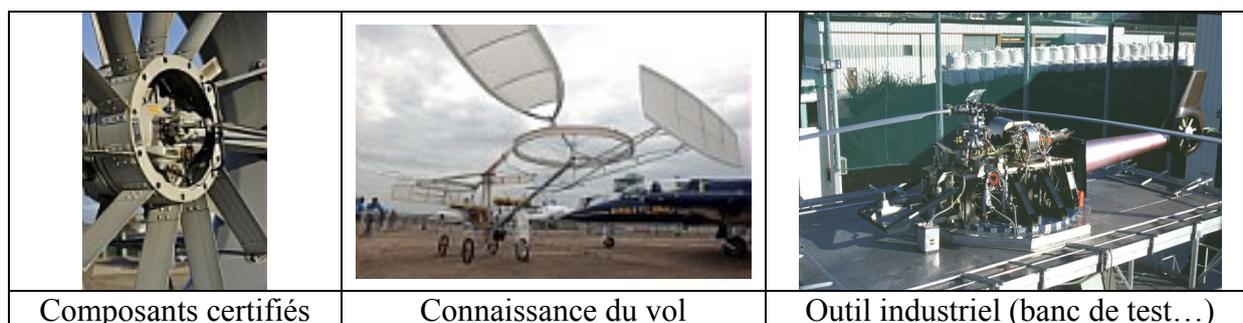


Figure 29 : Exemples de possession dont peuvent bénéficier les hélicoptéristes

Inversement, quelles parties ne présentent pas d'intérêt pour les hélicoptéristes ?

- Les hélicoptéristes étant de grandes entreprises, ils sont pénalisés par la lourdeur de leur structure dans le développement de petits projets. Les drones miniatures, dont les durées de vies sont prévues pour être faibles, demandent à l'entreprise qui les conçoit d'être très réactives pour tirer avantages des technologies les plus récentes. Il semble peut opportun pour une grande entreprise de se positionner sur ce marché.
- Ils n'ont pas plus d'intérêt que dans les hélicoptères à développer les composants de bas niveau (capteurs, électroniques...) ou trop complexe (systèmes de communication...) hors de leur cœur de métier et qu'ils ne pourraient rentabiliser.



Figure 30 : Exemples de parties peu profitables aux hélicoptéristes

Industriellement, ces savoir faire ou manque d'expertise se traduisent par une répartition des composants entre un hélicoptériste et ses équipementiers. Le savoir-faire d'un hélicoptériste étant bâti à partir de sa connaissance des paramètres de vol, il importe qu'il les préserve. En tant qu'intégrateur, il doit conserver le savoir faire d'assemblage du système embarqué mais il peut acheter tous les composants élémentaires et les équipements mission. Il ne peut confier à des sociétés extérieures le développement de fonctions que lorsqu'elles ne nécessitent pas de manipulations des données de commande du vol. Ainsi l'hélicoptériste doit conserver l'intégration des équipements embarqués mais peut se dégager des stations sol. C'est la qualité des interfaces entre systèmes d'exploitation qui assure la cohérence de l'appareil.

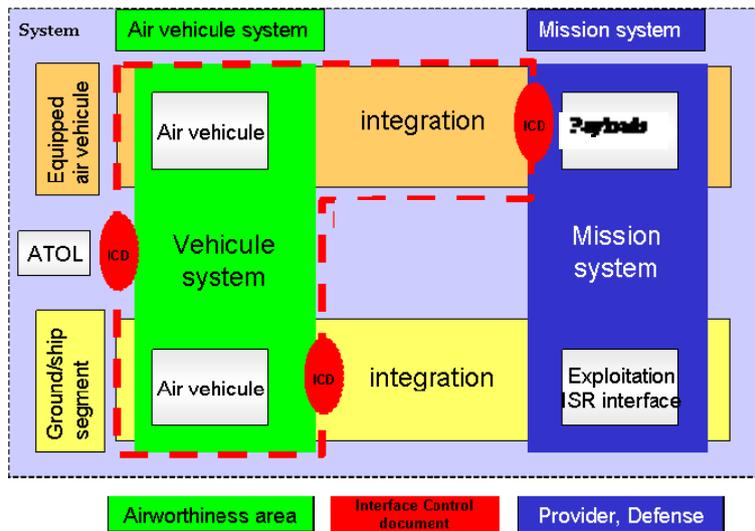


Figure 31 : répartition des responsabilités

- **Feuille de route technologique**

La question est de savoir comment s'engager sur la voie de la robotisation. Un hélicoptériste doit-il commencer par développer un drone, d'un OPV, ou doit-il attendre d'avoir rendu ses hélicoptères intelligents ? Les problématiques technologiques sont communes aux drones et aux hélicoptères à partir d'une certaine taille (≈ 600 kg). Au-delà, la spécificité d'un drone par rapport à une plateforme habitée réside uniquement dans la commande à distance et certains modes de maintien du vol. Les savoirs sont transférables.

S'engager dans un projet de développement de drone présente l'avantage de s'engager dans un produit non soumis aux lourdes et coûteuses procédures de certification. Le drone peut être vu comme un démonstrateur permettant de tester à moindre frais des solutions transposables aux hélicoptères habités (OPV ou intelligents), l'absence d'humain allégeant les contraintes de navigabilité. Cette démarche par étape permet de lever progressivement les risques technologiques à moindre frais. Un hélicoptériste peut ainsi devenir visible sur le marché des drones et faciliter le déploiement de sa protection intellectuelle par dépôts de brevets, en révélant les problématiques réelles. L'inconvénient de cette voie est la limitation du marché. Les retours sur investissements sont trop longs pour être profitables. Par ailleurs selon la taille du drone, les problématiques mécaniques diffèrent trop pour être semblables (voir chapitre 2) et la faisabilité économique du projet est contrariée par les développements complémentaires nécessaires.

Commencer par le développement d'un hélicoptère intelligent permet d'augmenter progressivement sa part d'autonomie (50-50, ...90-10...) en automatisant les tâches au fur et à mesure que les avancées technologiques le permettent. Les nouveaux composants sont développés en phase avec les attentes du marché. La même organisation interne peut être

conservée, et le produit conçu pour être intégré dans des hélicoptères existant, offrant ainsi des possibilités de rétrofit. Des services peuvent être vendus aux clients pour rentabiliser chaque étape, et d'autant plus facilement qu'ils peuvent sélectionner uniquement ce dont ils ont besoin pour améliorer les appareils. En revanche, l'architecture n'est pas optimisée (redondance du matériel, des boucles de calculs...) et le poids et le coût excessif. Vouloir assembler de manière cohérente des parties conçues séparément peut s'avérer complexe et demander un effort considérable. Le manque de visibilité directe sur l'architecture finale peut faire perdre des brevets et s'avérer bloquant sur le long terme. Les solutions intermédiaires devenues obsolètes, le constructeur peut perdre son indépendance.

Commencer par développer un OPV ne semble pas judicieux car l'appareil cumule les contraintes de certification des véhicules habités et le manque de marchés des drones. Seuls des hélicoptéristes agissant sur commande d'un client (armée américaine pour Sikorsky...) peuvent l'envisager

	drone	hélicoptère
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - développement d'un démonstrateur - cout de démonstration réduit - cohérence de l'architecture - sécurisation des brevets - visibilité sur le marché - construction d'un réseau de partenaires 	<ul style="list-style-type: none"> - pas de bouleversement interne - développement progressif - adaptation au marché existant - possibilité de rétrofit - développement de services - veille technologique
Inconvénients ou risques	<ul style="list-style-type: none"> - limitation du marché 	<ul style="list-style-type: none"> - non cohérence de l'architecture - non optimisation - blocage par brevets des concurrents

Figure 32 : comparaison des projets d'engagement vers la robotisation

Quelle que soit l'appareil de départ, l'automatisation des tâches et la construction d'une architecture minimale est commune. Il s'agit d'initier un nouveau cycle technologique.

2.2.2 Marché

Le lancement de projet d'innovation est consécutif à l'identification d'un marché. Quels clients les hélicoptères robotisés, drone ou hélicoptère intelligents peuvent –ils actuellement viser pour s'engager plus rapidement sur la voie de la robotisation ? Les questions d'analyses du marché prennent en compte les aspects opérationnels, coûts et maturités techniques.

- **Périmètre du marché**

L'expérience des hélicoptéristes leur procure un avantage pour résoudre les problématiques communes drones - plateformes habités, c'est-à-dire s'orienter vers des drones de plus de 600kg. Ce créneau, sans limite de taille supérieure, est le plus adapté pour eux. Leur situation

est plus difficile pour des drones de taille inférieure. De petites entreprises aux structures plus légères, plus réactives pour acquérir de nouvelles technologies, sont capables de leur opposer des produits moins chers et tout aussi performants.

La mission impose l'emport d'un certain nombre d'équipements et la durée du vol fixe les réserves de carburant. L'indice constructif des drones étant estimé autour de 0,5, il est ainsi possible de déterminer la taille minimale de l'engin capable de l'effectuer. Inversement, il faut inventer et parcourir le plus de scénarii possibles pour déterminer les missions nécessitant des drones de plus de 600kg.

- **Critères de marché**

Les clients achètent un outil capable de leur rendre le service dont ils ont besoin pour réaliser la tâche dont ils tirent des bénéfices. Peu importe l'outil lui-même, il faut que son prix soit profitable en regard des bénéfices qu'il permet de générer. La robotisation change les capacités des hélicoptères, et les clients sont amenés à choisir leur produit en comparant des solutions inexistantes auparavant. Par exemple, ils doivent comparer l'intérêt économique de la présence humaine contre celle d'un robot, de conserver le produit contre autoriser sa perte en fin de mission, et de déterminer l'avantage d'une séparation entre une partie sol et une partie embarquée. Ainsi, les critères de sélection ne se limitent plus aux seules performances de vitesse, endurance, portée, altitude ou coût.

Ces jeux multiplient les produits potentiellement proposables aux clients. Les hélicoptéristes ont dans ces conditions tout intérêt à développer des gammes de produits. La modularité et la facilité de transformation d'un produit en un autre ou d'évolution dans le temps devraient être mises en avant. La nouvelle avionique Cigalhe d'Eurocopter est un atout en ce sens. Les approches par missions évoquées ci-dessus demandent à être complétées par une analyse plus fine des motivations clients.

- **Marché actuel et évolution**

Actuellement les seuls clients d'appareils robotisés sont militaires. L'espace aérien civil n'est pas prêt à les accueillir. Les robots en opérations sont des drones destinés essentiellement à des missions de surveillance ou de recueil d'information (désignée par le sigle C3 pour Commande- Contrôle- Communication) dans lesquelles l'appareil est radioguidé pour aller chercher et transmettre des renseignements. Les utilisations en attaque (réalisées par les Fire Scout ou les Predators) sont encore marginales mais elles sont attendues avant 2020, comme celle de transport de fret (cargo). Les programmes financés pour aboutir dans les prochaines

années ont principalement pour objet l'automatisation de la navigation et des transmissions de données entre les véhicules et les stations sol).

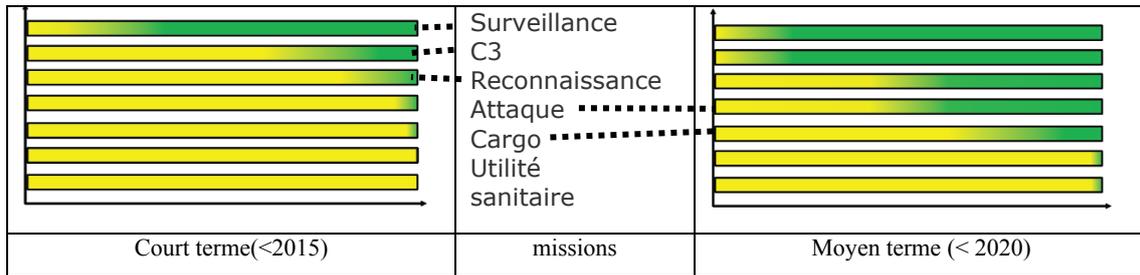


Figure 33 : Robotisation des missions dans le temps (en vert) [EYE 10]

Si le marché américain est étendu, l'armée française ne possède encore que moins d'une centaine de drones, dont seulement 3 MALE de surveillance « Harphang », quelques dizaines de SDTI et DRAC pour la reconnaissance et quelques drones miniatures comme le « Vigilant » pour la prise de vue aérienne. Dépourvus de systèmes de contre mesures électroniques, aucun n'est utilisable en combat, et le financement de systèmes d'armements des drones n'a débuté qu'en mai 2010 : la France accuse un retard sur les forces américaines.



Figure 34 : les drones dans l'armée française

Le marché militaire devrait évoluer vers l'individualisation des drones : Les drones de combat actuels, comme le Predator ou le Reaper, produisent d'énormes explosions au sol car ils sont équipés de missiles Hellfire surtout conçus pour la lutte anti-char. Or les états-majors, sensibles à l'impact médiatique, valorisent les tirs « propres », ultra précis, silencieux et causant de très faibles dommages collatéraux. La concurrence devrait en être profondément modifiée. Le marché militaire ne devrait rester attractif pour les hélicoptéristes que sur le segment des drones plus lourds type cargo.



Figure 35 : tendances à l'individualisation et au transport cargo

- **Marchés potentiels des drones ou OPV**

Le marché actuel des drones ou OPV est militaire. Si un hélicoptériste le vise, il engage des ressources sur commande d'un client. Actuellement, seule l'armée américaine, par ses budgets et ses engagements, peut se le permettre. Les hélicoptéristes implantés hors des USA ne peuvent s'engager dans la dronisation qu'après identification d'un marché. Comment l'identifier ?

Les drones sont particulièrement bien adaptés aux missions **3D** « **D**ull – **D**irty – **D**angerous ». Hormis les militaires, de nombreuses missions peuvent être accomplies :

➤ Les missions « Dull », répétitives sont particulièrement adaptées aux opérations de surveillance. Ces missions sont les premières à pouvoir arriver sur le marché car elles découlent naturellement de l'automatisation des tâches et ne nécessitent pas de faire appel à l'intelligence artificielle. Pour les civils, ces missions peuvent être

- la surveillance de la non altération de l'état d'un bien ou d'un lieu (détection de colis piégés le long de routes, du bon dégagement des lignes électriques, d'obstacle jeté sur les voies ferrées, de traces de pollution maritime,...).
- la surveillance du non franchissement d'une limite (intrusion dans propriété privée, pénétration dans les eaux nationales, évasion d'une prison...),
- le recensement (nombre d'oiseaux, de bateaux, évaluation d'une foule)

➤ Les missions « Dirty », en milieu inhospitaliers, viennent ensuite car elles nécessitent la gestion d'équipement supplémentaires en réponse aux conditions particulières dans lesquelles elles sont exécutées. Pour les civils, ces missions regroupent entre autre :

- les prélèvements (capture de gaz en cas de pollution atmosphérique, échantillon de matière à des endroits seulement accessibles par air,...),
- les mesures de seuil critique (radioactivité, qualité chimique de l'atmosphère...)
- les livraisons de matériels en zones contaminées (transport de déchet radioactifs)

➤ Les missions « Dangerous » sont celles pouvant conduire à la perte physique de l'appareil. Souvent rencontrées par les militaires en zone de conflit, elles se rencontrent dans le civil dans des situations sortant de l'ordinaire nécessitant :

- L'exploration de zones à risques (visite d'immeubles en feu, de réseau inondé...)
- La présence de tireurs (braquage, prise d'otages...)...
- Le contact avec des êtres dangereux (immobilisation d'un animal, d'un évadé...)

De nombreuses réunions de groupes de types brainstorming peuvent servir à imaginer les missions, à partir desquelles une étude de marché peut être lancée pour évaluer le nombre de clients susceptibles d'être intéressés. Réciproquement, il est possible de se concentrer sur les

clients, pour construire un produit spécifique adapté à la finalité de leur mission. Les clients peuvent être répartis en deux groupes, qualifiés « **Dépendant** ou **Dominant** » par cette thèse :

- Les clients pour lesquels le drone permet de dominer le marché en améliorant leur offre (**Dominant**). Acquérir un drone leur apporte un avantage compétitif : diminution des coûts, augmentation du rythme des rotations, augmentation de la disponibilité, augmentation des performances (surveillance accrue, ...),
- Les clients pour lesquels le drone est le seul moyen d’accomplir une mission qu’il n’aurait pas réalisé sans (**Dépendant**) : visite d’un immeuble en feu, apport de matériel de survie en zone inaccessible...). Le drone permet d’offrir une assistance inenvisageable jusqu’alors.

➤ Les clients « Dominants » cherchent à utiliser leurs appareils de manière optimale. Ils investissent dans l’achat d’un hélicoptère robotisé, OPV ou drone, pour être plus compétitif que leurs concurrents. Le discernement des critères déclenchant leur achat est l’extension des préoccupations quotidiennes des hélicoptéristes visant à améliorer des performances de leurs appareils. Les recherches visent prioritairement

- la réduction des coûts d’achat comme d’exploitation (photos aériennes, impossibilité d’entretien d’un hélicoptère et son équipage, détection aléatoire acceptable...)
- l’efficacité de leur intervention (rapidité, fiabilité, ...)

➤ Les clients « Dépendants » sont contraints de recourir à un drone ou OPV pour remplir leurs missions. Les causes de leur dépendance sont diverses :

- géographique : zones inaccessibles, ...
- académique : difficulté de formation des pilotes par manque de temps, de personnel...
- temporel : l’urgence de la situation rend l’aide d’un drone acceptable faute de mieux. (sauvetage en mer...)

Dominants	Dépendants
- Police	- Pilotes non expérimentés (temps ou compétences)
- Pompiers	- Blessés, urgence
- Douane	- Economiquement limités (personnel, entretien
- Société de surveillance...	flotte,...)

Figure 36 : clients civils potentiels

Les possibilités de missions civiles abondent. Nombreuses d’entre elles sont locales ne nécessitent pas de pénétrer l’espace aérien (inspection d’immeuble, surveillance de propriété privée, ...). Les drones les accomplissant n’ont pas à attendre l’acceptation des autorités du trafic aérien. Leur commercialisation ne dépend que de la volonté des clients de se les

procurer. Les clients potentiels civils étant suffisamment nombreux, un hélicoptériste doit pouvoir développer drone et OPV sans attendre les commandes des militaires. Grignoter groupe de clients après groupe de clients pour conquérir le marché civil des drones semble plus aisé que d'identifier un groupe particulier suffisamment nombreux et prêt à l'achat d'un nouveau type de produit. Pour que cette approche soit industriellement rentable, il faut la coordonner avec une logique industrielle. Une proposition est présentée au paragraphe 4.4.

2.2.3 Identification des freins

Tout changement induit des réticences. La robotisation est plus ou moins désirée par les industriels (employés ou décideurs) comme par leurs clients. Les freins ont une origine culturelle, et sont amplifiés ou limités selon la structure de l'hélicoptériste.

- **Culturellement**

L'autonomie de décision des systèmes perturbe la conscience.

- D'un point de vue sécuritaire, les systèmes électroniques ne sont pas encore perçus comme suffisamment fiables pour que des prises de décision leur soient confiées. Quotidiennement les bugs de Windows rappellent les possibilités d'erreurs des entités informatiques, et les pannes des nouvelles générations de voitures ne les encouragent pas non plus. Industriels et clients ne sont pas prêts à confier des vies humaines alors que d'autres moyens (hélicoptère classique) existent.

- D'un point de vue identitaire, elle force chacun à réduire les limites de son originalité. La reproduction d'activité blesse l'ego. Les pilotes sont heureux d'être déchargés jusqu'à un certain point. Il leur faudra construire un discours sur leur valeur ajoutée, identifier ce qui leur incombe exclusivement pour accepter de céder des activités « nobles ». il préfère pour l'instant établir eux-mêmes le diagnostic de pannes à partir d'alarme... Les clients sont valorisés par la présence de pilotes. Leur absence pourrait réduire le véhicule à l'état de soute, et la dépersonnalisation associer les clients à du fret.

Pourtant, une partie du chemin vers l'acceptation des systèmes est déjà parcouru (le démarrage automatique des essuie-glaces est attendu...). Les systèmes mécaniques rassurent par leur visibilité. Leur poids, leur géométrie, leur bruit, leur température signalent à nos sens des indications de leur bon fonctionnement. Pour que la logique informatique soit acceptée, il faudra trouver un moyen pour qu'elle communique. C'est peut-être autant au marketing qu'à leur fiabilité qu'ils devront d'être acceptés.

- **Commercialement**

Le réseau de distribution des hélicoptéristes est construit pour vendre à peu de client des produits un nombre relativement faible de produits (Eurocopter produit chaque année quelques centaines d'hélicoptères). Si les hélicoptères intelligents et les OPV sont adapté à leur réseau de support à la clientèle, ce n'est pas le cas des drones en dessous d'un certaines taille. Vendre de tels appareils les contraint à développer un réseau parallèle, se rapprochant des circuits de grande distribution. Il est d'autant moins avantageux pour eux de le faire, que les marges sur des produits moins onéreux sont nettement plus faibles. Or actuellement les marchés identifiés concernent ces types de drones. Ce frein commercial peut être levé par l'identification d'un marché pour des produits adapté à leur réseau, (par commande ferme d'un client) ou la possibilité de s'inviter dans un réseau partenaire.

- **Industriellement**

Les spécificités du marché hélicoptériste demandent de concevoir précautionneusement l'approche avec les partenaires :

- 80% de la valeur ajoutée des drones étant dans l'intelligence de leurs systèmes, les systémiers capables de les développer considèrent les hélicoptéristes comme des fournisseurs de plateforme dont ils peuvent équiper leurs produits et non comme des clients dont ils seraient nt eux mêmes les fournisseurs. Ils ambitionnent de dominer ce secteur en augmentant progressivement la taille et les capacités de leurs robots, dont certains pourraient voler.
- La brevetabilité est limitée. Les avancées des systèmes n'étant pas accessibles leur confidentialité est assurée en cachant et non par des brevets. Il est difficile de convaincre Cette non protection juridique expose l'entreprise.

société	CA (B€)	effectifs
Eurocopter	4,5	15 000
Sagem	1	7 000
Thales	12,9	68 000
Honeywell	36,5	128 000

Figure 37 : éléments de comparaison hélicoptéristes - systémiers

- **Techniquement**

- le manque de référentiel dans l'architecture des systèmes les fait apparaître toujours plus complexes et inutilement redondant. Le personnel non formé peine à s'y intéresser de trop

près et à évaluer les défis à relever pour assurer leur évolution future, et les contraintes que cela génère dans leur propres métiers.

- Le vocabulaire, à base d'acronyme, exclue. C'est alors le rôle de la formation d'assurer le Il rebute les personnes n'ayant pas la culture systèmes.

- La différence d'approche de conception : en termes de fonctionnalité pour les systémiers, en terme de partie et d'interface pour les mécaniciens.

Structurellement, passer de la production d'hélicoptère à celle de drone ou d'OPV modifie les rapports au sein de l'entreprise. Actuellement le service avionique crée à peu près la moitié de la valeur ajoutée de la machine, mais à l'avenir il pourrait en générer plus de 80%. Le déséquilibre entre les secteurs remet en question les répartitions d'allocations de ressource, matérielle ou humaine, mais force également à repenser l'organigramme hiérarchique

- **Perspective**

Ces différents freins ne sont pas exprimés directement. Les réticences traduisent les manques de visibilité stratégiques. Pour définir le sens à l'activité de chacun et assurer une cohérence d'ensemble des directives sont attendues :

- Une politique d'externalisation tout d'abord, afin que les acteurs amenés à travailler au quotidien identifient clairement les activités à protéger et celles pouvant être confiées à des sociétés partenaires sans préjudice,
- Une politique d'acquisition des connaissances ensuite, pour investir profitablement dans une activité appelée à servir de base à d'autres,
- Une politique de répartition des compétences entre les différentes entités de l'entreprise enfin, pour travailler sereinement sans redondances ou court-circuitage.

Si les deux premières sont actuellement en cours d'élaboration, la troisième est par contre invisible. Très sensibles, les questions de répartition d'activités ne sont que peu discutées hors des cercles de la direction d'Eurocopter. Si à l'intérieur d'une même industrie les entités ne s'entendent pas pour bâtir ensemble un programme de développement, comment demander à aux états clients qui n'ont en commun que des objectifs de s'entendre sur les financements de projets ? une entente préalable des entités françaises et allemandes au moins seraient un signe fort de volonté d'aboutir. Actuellement, la répartition est anarchique et ne sert personne.

2.2.4 Contexte environnemental

Les grandes tendances d'évolution technologiques modifient les jeux de pouvoir et façonne les volontés étatiques. Parmi les tendances structurant l'environnement politique et économique mondial, trois ont des répercussions sur le marché des drones: la volonté des états unis de conserver leur suprématie, la mondialisation et l'harmonisation européenne.

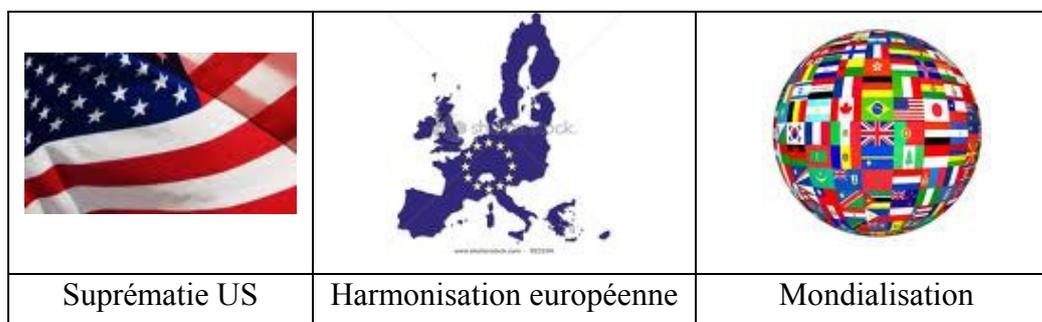


Figure 38 : facteur d'influence politique

- **Suprématie américaine**

Un axe de perspective géopolitique est tracé par la volonté des Etats-Unis d'Amérique de conserver leur suprématie. Superpuissance mondiale, ils disposent de la force économique et militaire pour orienter les autres états dans leur choix de développement et leur position diplomatique. Cette dernière décennie leur influence n'a cessé de diminuer. Les « petits pays » revendiquent leur culture et indépendance nationale, (remilitarisation de l'Amérique du Sud, rejet du soutien à la guerre en Irak demandé, ...). Les pays européens ont renforcé leur union (monnaie commune, président européen,...). L'Europe devient suffisamment crédible pour proposer sur la scène internationale des alternatives aux initiatives américaines. Les états émergents (Chine, Inde..) osent désormais contrarier les ambitions américaines. La Chine ne craint pas d'afficher son opposition (quotas d'importations, positionnement en Afrique, influence sur la Corée du Nord,...).

Pour retrouver leur position dominante, les Etats-Unis doivent appuyer leurs efforts sur des piliers économiques. L'aéronautique est un des secteurs industriels sur lesquels ils ont bâti leur puissance. Boeing a dominé le marché mondial jusque dans les années 80. Airbus a ensuite réussi à lui prendre la moitié des parts de marché. Pour le reconquérir, les options consistent d'un côté de perturber leur principal concurrent dans ce domaine (l'Europe) et de l'autre à investir massivement pour retrouver une avance technologique. Ils s'y emploient en ralentissant la construction européenne par le biais de jeux diplomatiques (position de la Turquie,...) et lançant de très nombreux programmes de recherches. Engagés dans deux

guerres depuis les attentats du onze septembre, les budgets défense ont décuplés cette dernière décennie. Les constructeurs aéronautiques américains en bénéficient largement.

La dronisation est un facteur grâce auquel les Etats-Unis espèrent emporter la compétition aéronautique. Cela fait d'autant plus sens que les grandes sociétés informatiques sont déjà américaines : de Microsoft à Intel, de Dell à Honeywell, toutes les ressources sont disponibles pour construire de nouveaux produits. Boeing a par exemple créé une filiale, Boeing IDS, pour se concentrer sur la maîtrise du monde cybernétique. Un hélicoptériste non américain doit ainsi se préparer à une bataille commerciale féroce.



Figure 39 : Réservoir de partenaires informatiques américains

- **Mondialisation**

La mondialisation très avancée dans l'aéronautique civile. Elle conjugue des alliances internationales et des implantations pluri-continentales. Les marchés ne peuvent être nationaux pour être économiquement viables, mais la plupart des nations lancent des projets concurrents espérant séduire les autres en les surpassant.

La mondialisation des échanges facilite l'émergence de nouveaux acteurs, en multipliant les possibilités de partenariats. Elle a pour principale motivation la recherche de bas coût. Conquérir le marché des drones nécessitant actuellement plus d'acquérir la maîtrise de nouvelles technologies, la mondialisation n'a pas d'incidence directe sur la compétition. Cependant, elle conditionne le jeu des alliances politiques et influe sur les opportunités d'ouverture de marchés. La majorité des clients potentiels étant militaires ou parapublics, elle influe sur les chances de succès commerciaux. Par ailleurs, la position dominante étant américaine, les Etats-Unis peuvent jouer sur le choix de partenaires pour attiser les rivalités et défaire leurs concurrents les plus sérieux. Eurocopter, leader à évincer, se trouve ainsi dans une situation désavantageuse.



Figure 40 : Leaders politiques des principaux pays concurrents

- **Harmonisation européenne**

L'Europe se dote peu à peu d'un cadre juridique et politique adéquat pour favoriser la compétitivité de ses industries. Dans ce but, elle a ouvert son marché intérieur (en le débarrassant des tracasseries administratives, de la coexistence de réglementations nationales différentes, des lentes procédures de circulation des biens,...). Cette harmonisation s'opère également dans le secteur de la défense. L'Europe affiche son ambition en lançant de vastes programmes (NH90, A400M, Galileo...). La construction de la défense passe par la rationalisation de l'espace industriel : « L'avenir est à des programmes communs et à une intégration européenne de l'industrie, qui vont de pair. Les programmes doivent veiller à mettre en synergie les meilleures compétences pour répondre aux besoins opérationnels et non à permettre aux participants d'acquérir ou consolider des capacités technologiques et industrielles insuffisamment maîtrisées » [SAR 09].

Le manque d'harmonie diplomatique freine la mise en place de la politique européenne de sécurité et de défense (PESD). La PESC a pour objectif de permettre à l'Union de développer ses capacités de gestion des crises et de prévention des conflits à l'échelle internationale, sans impliquer pour autant la création d'une armée européenne. Les états européens restent ainsi plus soucieux de développer leur industrie nationale que d'établir une programmation militaire commune.

L'Agence de la Défense Européenne, créée en 2003, essaie de remédier à cette situation en restructurant la base industrielle et technologique des industries de défense à l'échelle européenne et non plus nationale. L'Europe essaie de se doter de règles de fonctionnement pour mieux coordonner les efforts de ses états membres. Elle veut harmoniser les demandes en équipements militaires, et éviter de fragmenter les investissements dans la recherche technologique. Elle veut favoriser des synergies entre les programmes de développements civils et militaires. Dans un contexte de crise économique, cette volonté européenne se traduit par la mutualisation des ressources et l'incitation aux programmes de coopération pour éviter la dispersion des fonds.

En ce qui concerne le secteur aéronautique, la politique européenne vise à maintenir une répartition économique et stratégique viable entre les quatre grands acteurs, le franco allemands EADS, le britannique BAE system, l'italien Finmeccanica et l'euro-péen Thalès. Mais les politiques nationales divergentes contrarient les projets. Les retards et surcoûts des programmes en cours ont différé le lancement de nouveaux projets communs. Aucun programme de drone n'a encore abouti et l'Europe commence à accuser un retard sur les Etats-Unis. Le secteur industriel des drones est encore très morcelé. Sagem DS (groupe Safran) est le leader européen des drones tactiques, mais c'est encore une société étrangère,

l'israélienne Elbit qui a remporté la compétition Watchkeeper au Royaume-Uni. (La société a quand même un partenaire européen, Thalès).



Figure 41 : principaux acteurs industriels de la défense européenne

- **Perspective**

Le marché mondial de l'armement pèse 300 milliards d'euros. Les militaires, premiers demandeurs d'engins robotisés, sont moteurs de la compétition. Actuellement, les américains dominent le marché pour plus de la moitié, et les européens n'ont réussi à mettre en œuvre de réponse pour les concurrencer. Les modèles de défense sont encore nationaux mais les investissements dépassent ce cadre, surtout en période de restrictions budgétaires, et doivent être considérés à l'échelle européenne. La crise, les divergences politiques et la désorganisation des industriels ont jusqu'à présent contrarié les efforts communautaires. L'Europe de la défense est en construction et cherche à rationaliser les moyens industriels. Mais il est difficile d'inciter des industriels à jouer le jeu de sa politique. Il serait par contre plus facile à des industriels de proposer un montage à approuver pour concrétiser les volontés de mutualisation.

Pour profiter de financement militaire, une démarche judicieuse consisterait à proposer un projet militaire ayant une application civile, soutenue par un montage de partenariat industriel multinational. La communication et le partage des dépenses diminueraient les réticences des contribuables.

Conclusion

La robotisation des hélicoptères est la piste d'innovation à investir prioritairement par les constructeurs. Elle les force à repenser le positionnement commercial de leur produit, en modifiant la concurrence qu'ils doivent affronter. L'évolution fait apparaître l'arrivée possible de nouveaux compétiteurs que sont les systémiers, spécialisés dans les composants électroniques avec lesquels les hélicoptéristes doivent désormais composer.

La problématique est double : comment un hélicoptériste doit-il se positionner dans son secteur activité et comment doit-il pénétrer sur son nouveau marché ? Les réponses conditionnent ses alliances et sa nouvelle gamme de produit.

Eurocopter a choisi de continuer son métier d'intégrateur, valoriser ses compétences en conception de plateformes et conserver la maîtrise de l'architecture dans les fonctions robotiques. En l'absence de programme concret, cette volonté reste cependant fragile. EADS, n'a pas arrêté sa position stratégique. Elle pourrait imposer au constructeur sa position au vu de l'intérêt général du groupe et non directement du constructeur. Les systémiers seront appelés à être des architectes selon les décisions.

L'identification d'un client « prêt-à-payer » peut cristalliser la situation en forçant la prise de décision à un moment donné. Eurocopter a tout intérêt à rechercher activement un client sans attendre la politique générale du groupe, quitte à corriger sa position par la suite.

Hormis les problématiques techniques et financières, le développement hélicoptères robotisés génèrent de nombreuses problématiques connexes, en particulier :

- Sécuritaire : l'automatisation de séquence peut être contreproductive. Pour exemple, offrir au pilote une aide pour gérer les autorotations peut dégrader leur attention lors de la formation et accroître de par leur méconnaissance les risques d'accidents.

- Légale : l'aéronautique n'est pas soumise à des limitations de brevets dues au conflit avec les droits fondamentaux (comme c'est le cas dans l'industrie pharmaceutique par exemple). L'irruption de questions relatives à la vie privée ou la détection de faiblesse de l'humain peut perturber les mécanismes administratifs actuels.

- Sociologique : l'utilisation de robots force à repenser l'utilité de l'humain et la véritable valeur ajoutée par l'intelligence humaine. Si le progrès est de remplacer l'homme par des machines, surveillées ou assistées à leur tour par d'autres machines, quel est le sens de l'évolution.

Bibliographie

- [B0A 00] Projet BOA - Bulle Aéroterrestre Opérationnelle, *Délégation Générale pour l'Armement*, Ministère de la défense, 2000
- [EYE 10] US army unmaned aircrcraft system roadmap 2010-2035 *Eye of the army*, US Army UAS center of excellence, 2010
- [CNR 09] Centre National des Ressources Textuelles et Lexicales, 2009
- [IMA 97] D0-297 Integrated Modular Avionics development guidance and certification
- [LAR 09] Dictionnaire Larousse, 2009
- [LAU 09] LAUGEAU, C. Le siècle de la voiture intelligente *Mines ParisTech*, Presse des mines, 2009
- [SAR 09] SARKOSY, N. Vœux du Président de la République 6 janvier 2009.
- [SHE 00] PARASURAMAN, R. - SHERIDAN, T.B. - WICKENS, C.D A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation Transactions on Systems, *Man, and Cybernetics*, 2000