



HAL
open science

Innover par la simulation de l'activité sur support tangible : le cas de la conception du cockpit Rafale

Daniel Hauret

► **To cite this version:**

Daniel Hauret. Innover par la simulation de l'activité sur support tangible : le cas de la conception du cockpit Rafale. Sciences de l'Homme et Société. 2017. dumas-01704726

HAL Id: dumas-01704726

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01704726>

Submitted on 8 Feb 2018

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.



Conservatoire National des Arts et Métiers

Master Sciences Humaines et Sociales

Mention Travail et Développement

Spécialité Ergonomie

Innover par la simulation de l'activité sur support tangible :
le cas de la conception du cockpit Rafale

Daniel Hauret

Tutrice : Françoise Darses de Montmollin

20/09/2017



“Il semble que la perfection soit atteinte, non quand il n’y a plus rien à ajouter mais quand il n’y a plus rien à retrancher “

Saint Exupéry, Terre des hommes, chapitre III, L’avion.

Remerciements

Je souhaite présenter toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, sans qui ce travail n'aurait pas été possible :

Les pilotes Rafale pour la confiance que nous avons construite avec chacun d'eux, ne serait-ce que le temps d'une journée,

Corinne pour m'avoir permis de retourner sur les bancs de l'école,

Laurent pour son ouverture, sa rigueur et le courage dont il a fait preuve sur mes terres ...

Flore pour son optimisme, sa gaîté, sa simplicité et ses exigences canoniques,

Richie pour sa vision, sa curiosité, son originalité, notre confiance et notre amitié,

Julien pour son enthousiasme, son professionnalisme et notre histoire,

Françoise pour la classe avec laquelle elle m'a transmis et entretient sa passion pour l'ergonomie,

Elorri, Lisa et Thomas pour avoir supporté mes absences et me donner l'envie d'être exemplaire,

Karine pour ce que nous sommes et ce qu'elle fait de moi.

Sommaire

Remerciements.....	3
Sommaire.....	4
Liste des tableaux.....	6
Liste des figures.....	7
Liste des annexes.....	9
Introduction.....	10
1 Contexte.....	15
1.1 Maîtriser l'innovation en aéronautique de Défense.....	15
1.2 S'appuyer sur l'ergonomie en introduisant un changement de paradigme méthodologique pour soutenir l'innovation en aéronautique de Défense.....	15
1.3 Intégrer notre intervention dans le processus d'expression du besoin des armées.....	17
2 Cadre théorique.....	20
2.1 Pilote de chasse : un métier nécessitant d'être créatif.....	20
2.2 Sources de conception innovante.....	23
2.2.1 Innovation et créativité.....	23
2.2.2 Créatif pour et par l'action.....	24
2.2.3 Des méthodes pour stimuler la créativité.....	25
2.3 La simulation pour révéler les usages.....	27
2.3.1 Ajuster le choix de l'outil de simulation au juste besoin.....	28
2.3.2 Situer l'action pour révéler les usages.....	30
2.3.3 Une interaction pour la réflexivité.....	31
2.4 L'argumentation dans la conception comme outil de conception.....	32
3 Problématique.....	35
4 Analyse de l'activité de conduite de tir.....	39
4.1 Observations terrain et entretiens.....	39
4.2 Méta-activité de conduite de tir.....	40
4.3 Modèle de tâches de conduite de tir.....	41
5 Méthodologie.....	42
5.1 Choix des participants.....	42
5.2 Dispositif de production de données sur l'activité en système dynamique : construction du DiSTASyD:.....	44

5.2.1	Module TABLE TACTIQUE	44
5.2.2	Module IHS tangible	46
5.2.3	Modules SCENARIOS	48
5.2.4	Les protagonistes de l'équipe de co-conception	50
5.2.5	Mode d'emploi et mise en œuvre de DiSTASyD	51
5.3	Dispositif de traitement des données	55
5.3.1	Les informations actuelles à conserver	55
5.3.2	Les idées innovantes.....	59
5.4	Traitement des données issues des idées innovantes	61
5.4.1	Segmentation	61
5.4.2	Catégorisation	62
6	Résultats	63
6.1	Validité de la méthode DiSTASyD.....	63
6.2	Apport de la méthode à une innovation anthropocentrée.....	67
6.2.1	Principe d'exploitation de la hiérarchie d'abstraction.....	67
6.2.2	L'exemple d'une innovation dans l'écran HUD : le WEAPON FILE.....	69
7	Discussion	74
7.1	Synthèse des résultats.....	74
7.2	Réponse à la problématique.....	75
7.3	Originalité du dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD).....	76
7.3.1	Spécificités de DiSTASyD	77
7.3.2	Adaptation nécessaire de SAST.....	78
7.3.3	Une nouvelle catégorie de support.....	79
7.4	Limites.....	81
	Conclusion	85
	Bibliographie.....	86
	Annexes	92
	Annexe 1 Tâches d'intérêts dans l'activité du pilote de chasse.....	93
	Résumé	94
	Abstract.....	95

Liste des tableaux

Tableau 1. Hiérarchie d'abstraction adaptée pour DiSTASyD.....	62
Tableau 2. Positionnement du support DiSTASyD parmi les objets intermédiaires.	80

Liste des figures

Figure 1. La démarche de conduite de projet en ergonomie (SAST).....	16
Figure 2. Rapprocher le pilote du concepteur	17
Figure 3. Transmission du besoin en conception aéronautique militaire	18
Figure 4. Introduction des principes de SAST	19
Figure 5. Tâches connexes à la gestion de l'armement	21
Figure 6. Décomposition hiérarchique des buts d'une mission	22
Figure 7. Risques externes du compromis cognitif	22
Figure 8. Marges d'action des concepteurs	26
Figure 9. Avantages et inconvénients des prototypes de haute et basse fidélité	29
Figure 10. Deux entrées possibles pour la simulation.....	36
Figure 11. Méthodologie de construction du besoin	38
Figure 12. Méta-activité de conduite de tir.....	41
Figure 13. Timeline des changements d'état lors du processus d'engagement.	41
Figure 14. Maquettes de DiSTASyD : de l'informatique à la concrétisation matérielle	45
Figure 15. Du cockpit actuel à un cockpit dont l'IHS tangible est initialement vierge	46
Figure 16. Construction de solutions sur le module IHS.....	47
Figure 17. Exemple de cas d'usages	49
Figure 18. Confidentialité des situations réflexives collectives.....	52
Figure 19. Les « unités » de l'activité humaine	53
Figure 20. Usages prospectifs et rétrospectifs atteints avec DiSTASyD	54
Figure 21. Extrait de la matrice des informations actuelles à conserver.	59
Figure 22. Extrait de la liste des idées innovantes	60
Figure 23. Extrait de la liste des idées innovantes filtrée.	64
Figure 24. Répartition des idées en fonction du premier niveau d'abstraction	64
Figure 25. Distribution des idées prospectives et rétrospectives	65
Figure 26. Distribution des idées concernant l'emploi du Meteor	66
Figure 27. Exemple de connexion inter-registres.....	67
Figure 28. Weapon load actuel	70
Figure 29. Le perroquet actuel	70
Figure 30. Proposition de cerclage de l'arme sélectionnée	71

Figure 31. Déstructuration du HUD actuel en conduite de tir AIR/AIR.....	72
Figure 32. Proposition de HUD	73
Figure 33. Médiation pilote/situation de simulation via l'animateur	81

Liste des annexes

Annexes	92
Annexe 1 Tâches d'intérêt dans l'activité du pilote de chasse	93

Introduction

L'avion de combat Rafale équipe la Défense française depuis une quinzaine d'années. L'Armée de l'air et la Marine l'emploient sur la plupart des théâtres d'opérations actuels. Destiné à servir encore pendant plusieurs décennies, cet avion « glasscockpit¹ » est régulièrement « mis à jour » à coups de versions logicielles ce qui permet l'intégration de nouvelles capacités ou de nouveaux armements². Il en sera ainsi pour l'intégration du nouveau missile Meteor prévue en 2020. Dès 2016, les armées doivent établir un cahier des charges de la future interface de la cabine de pilotage à destination de l'avionneur Dassault. Les logiques de fonctionnement de ce missile sont nouvelles et encore inconnues des pilotes de Rafale qui opèrent actuellement en unités de combat. Les informations et les commandes qui leur seront accessibles en cabine et leurs « usages futurs probables » restent à construire. Il faut donc innover, mais les évolutions apportées à un avion de combat déjà en service nécessitent la plus grande précaution en raison des exigences de fiabilité, d'efficacité, de sécurité et de respects des usages en vigueur (acquisition et entretien des compétences des pilotes, respect des procédures interalliées, etc.). La démarche retenue pour construire ces usages futurs probables doit permettre de tenir ces enjeux.

En aéronautique militaire, l'innovation est classiquement portée par l'industrie et par la direction générale de l'armement (DGA). Cette dernière y consacre 730 millions d'euros par an qui sont répartis sur 270 projets de recherche dont 140 thèses³. Pour un industriel souvent guidé par une approche « techno push », l'innovation de rupture est naturellement visée en raison du marché potentiel qu'elle ouvre ; « elle a parfois pour objet la *valorisation d'un savoir-faire* technologique » (Nelson, 2011, p.24). L'intégration dans le cockpit d'une interface inadéquate bien qu'innovante, pourrait générer de nouveaux usages qui ne seraient pas homogènes avec ceux déjà développés pour l'emploi des autres armes. Cherchant à maîtriser ce risque qui peut se traduire par une surcharge cognitive des pilotes,

¹ Glasscockpit : postes de pilotage dans lequel les instruments à aiguille ont été remplacés par des écrans à affichages multiples

² Armement : Ensemble des munitions létales portées par l'avion et destinées à se désolidariser de l'avion pour impacter des cibles.

³ <http://www.defense.gouv.fr/dga/actualite/dossier-l-innovation-a-coeur2>

les responsables du programme Rafale de la DGA s'adressent aux ergonomes du Département de médecine aéronautique opérationnelle (DMAO) du Centre d'expertise aérienne militaire (CEAM) de l'Armée de l'air placé sous la tutelle de l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA). En effet, ils considèrent que les connaissances et l'intégration au monde opérationnel de ces derniers leur donnent un accès direct au « marché » visé : celui des pilotes de chasse. L'objectif de l'intervention ergonomique consiste à produire des spécifications permettant de rendre homogène l'ensemble des informations présentées au pilote pour la gestion des dix armements différents de l'avion. Il ne s'agit donc pas d'innover pour proposer un produit grand public, mais plutôt d'adopter une méthodologie qui garantisse aux armées, à la DGA et à Dassault, que l'interface innovante avec laquelle les pilotes prendront le risque de perdre leur vie dans l'exécution de leur mission a été conçue à partir de spécifications répondant au mieux à leurs besoins.

En conception, le terme de « besoin » de l'utilisateur apparaît sous la forme d'analyse du besoin, d'expression du besoin, de traduction du besoin, d'interprétation du besoin, etc. (Aoussat, 1990). Cette notion du besoin y est considérée comme une donnée a priori existante, que l'on peut recueillir par diverses méthodes ou procédés. Or le besoin, qui peut même évoluer à travers l'usage, est un construit collectif, tant dans sa révélation (structure/spécifications fonctionnelles) que dans sa formalisation (surface/spécifications non-fonctionnelles ou techniques). Ce construit nécessite la contribution active et méthodique de divers métiers. Laisser les utilisateurs finaux à l'écart du processus d'innovation poserait un double problème : celui d'une méconnaissance de l'activité de référence pour l'analyse des usages futurs (Theureau & Pinsky, 1984) et celui de l'impact sur les organisations et sur les usagers adoptants ces nouveaux outils. Par exemple, l'introduction de la technologie des liaisons de données tactiques dans les avions mais pas dans les centres de contrôle a grandement bouleversé le travail collaboratif qui était établi entre les pilotes et les contrôleurs aériens. Désormais, le pilote voit instantanément tous les éléments de son environnement sur son écran de bord et ne communique quasiment plus avec le contrôleur. Il l'abandonne progressivement au risque de manquer certaines informations vitales qu'aurait pu lui communiquer le contrôleur (Darses, Hauret & Donnot, 2014).

Le courant de l'ergonomie prospective vers lequel on se tourne pour répondre à ce besoin d'innovation révèle que la construction des usages prospectifs souffre d'une faiblesse méthodologique : on constate « un *manque d'outils pour aider les concepteurs à définir les produits et les usages futurs dans les phases idéatives du processus* » (Kankainen, 2003 cité par Nelson, 2011, p.78). Pourtant, la conception de situations de travail futur est devenue classique en ergonomie avec les travaux de Daniellou (1988) ou de Maline (1994) notamment en ayant recours à la simulation. Mais dans le domaine de l'innovation, « *les méthodes projectives classiques sont approximatives, ne cherchent qu'à réduire une incertitude structurelle et n'aboutissent qu'à générer des imprécisions avec lesquelles il conviendra de décider ... des recherches doivent être engagées pour préciser ces méthodes prospectives et évaluer leur pertinence* (Brangier & Robert, 2014, p. 13-14) ».

Notre travail de recherche exploratoire propose de répondre à ce défi épistémique. Il s'agit pour nous de concevoir et de valider une méthodologie de conception spécifique adaptée aux contraintes d'une activité dynamique future et particulière qui mettra en action un pilote seul à bord d'un avion supersonique. La méthodologie que nous avons développée vise à produire des spécifications fonctionnelles de haut niveau d'abstraction. Elle est inspirée de l'approche proposée par Barcellini, Van Belleghem et Daniellou (2013) créé pour concevoir des situations de travail en s'appuyant sur la simulation de l'activité sur support tangible (SAST). Par conséquent ce travail de recherche en ergonomie n'a pas pour objectif d'analyser le rôle, les interactions ou les processus cognitifs des acteurs mis en jeu au cours de la simulation.

Notre méthodologie se décompose en deux phases. Elle consiste dans un premier temps (§ 6.2.1) à produire des données par la génération d'idées divergentes. Pour cela, nous avons conçu le « dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD) ». L'environnement de conception médiatisé DiSTASyD se singularise pour les raisons suivantes :

- **Recours aux utilisateurs finaux** : C'est parce qu'il est nécessaire de connaître le plus fidèlement possible les exigences du terrain et les usages actuels que des **pilotes de chasse en escadrons opérationnels** ont été placés en situation de concepteurs et entourés de spécialistes de la conception (ergonomes, designers et ingénieurs),

- **Transfert d'une activité dynamique sur un support tangible** : C'est parce qu'il est indispensable que ces usages soient représentés et partagés collectivement afin qu'ils soient formalisés de manière exploitable par le concepteur, qu'un dispositif de **simulation statique** sur un support tangible a été développé. Cet environnement permet d'extraire de leur cockpit les pilotes participant à la simulation, de leur donner une vision allocentrée du champ de bataille et de les guider dans l'explicitation de leur **activité dynamique** qu'ils rejouent, qu'ils imaginent et qu'ils décrivent,
- **Scénarisation** : C'est parce que les pilotes ont besoin d'être guidés et aidés dans la représentation de leurs usages futurs que des **scénarios spéculatifs** permettant de les projeter dans leur activité future et de faire émerger des propositions d'évolutions innovantes et utiles ont été créés,
- **Reproductibilité** : C'est pour recueillir un maximum d'usages possibles que ces scénarios ont été élaborés et animés de manière à être reproduits avec **autant de pilotes que possible** passant un à un en simulation sur DiSTASyD.

Il ne suffit pas de produire des idées en grand nombre pour innover, encore faut-il être capable de faire converger les usages variés obtenus vers des prescriptions qui permettront de développer une solution technique utile.

Nous développons ainsi dans un second temps (§ 6.5), une méthode d'exploitation des données recueillies en simulation. L'analyse des arguments déployés au cours de la simulation permet tout d'abord de renseigner les divers niveaux atteints d'une hiérarchie d'abstraction (Darses, 2006) adaptée de Rasmussen (1986). Puis, par similarité des contenus de certains niveaux d'abstraction, des connexions seront établies entre les diverses propositions faites permettant ainsi de converger vers une solution intégrative issue de l'ensemble des idées nouvelles émises par chaque participant à la simulation. L'efficacité de cette méthode d'analyse des données, intervenant en 2^{ème} phase de notre méthodologie, servira à démontrer la validité interne de DiSTASyD comme moyen de production d'idées innovantes utiles (Loup-Escande, 2010 ; Loup-Escande, Burkhardt & Richir, 2012).

Finalement, les considérations épistémiques de cette recherche en ergonomie viennent nourrir les exigences pragmatiques imposées par l'intervention. Elle propose d'une part à l'ergonomie, aux sciences de la conception et de l'ingénierie du besoin, une méthodologie

originale permettant de produire avant tout et surtout des spécifications fonctionnelles étayées par une explicitation épaisse et précise des usages prospectifs qui d'autre part donne à la Défense les moyens de fournir un cahier des charges de qualité à l'avionneur pour la conception du futur Rafale.

1 Contexte

1.1 Maîtriser l'innovation en aéronautique de Défense

Au-delà du coût financier que les exigences de fiabilité et d'efficacité des systèmes aéronautiques imposent, apporter des modifications à un avion de combat déjà en service comporte toujours un risque, à la fois pour le constructeur qui cherche à ne pas déconstruire ce qu'il a bien conçu jusqu'alors et pour l'utilisateur qui cherche à ne pas perturber ses usages en vigueur. Chaque proposition de correction ou d'évolution de l'avion est donc classiquement examinée minutieusement par tous les acteurs impliqués dans le programme Rafale pour qui se pose systématiquement la question de l'utilité de modifier un système déjà capable de réaliser la performance attendue.

Dictées par les avancées technologiques et les nouvelles missions non envisagées lors de sa conception initiale, les modifications de l'avion ont rendu progressivement l'interface homme système (IHS) non homogène et parfois complexe à gérer dans certaines situations. Il existe au final une présentation des informations spécifique à chaque armement employé. Les symboles utilisés concernant l'emploi des bombes sont différents de ceux présentés pour tirer des missiles avec lesquels l'avion communique pendant leur vol après le tir. La polyvalence du Rafale peut ainsi conduire son pilote à utiliser cinq armements différents au cours du même vol.

C'est dans ce contexte, et avec la perspective de l'intégration du nouveau missile Meteor en 2020, que les responsables du programme Rafale de la Direction générale de l'armement (DGA) dont la fonction consiste à contractualiser les marchés avec les industriels, de Dassault aviation et des Etats-majors de l'Armée de l'air et de la Marine ont demandé au ergonomes du Département de médecine aéronautique opérationnelle (DMAO) de conduire une démarche complémentaire au processus de conception classique déjà en vigueur.

1.2 S'appuyer sur l'ergonomie en introduisant un changement de paradigme méthodologique pour soutenir l'innovation en aéronautique de Défense

Nous nous inspirons du modèle de conduite de projet en ergonomie développé par Barcellini, Van Belleghem & Daniellou (2013). Ce modèle s'appuie sur la simulation de l'activité autour d'un support tangible (cf. Figure 1). Nous l'appelons SAST par la suite.

La méthodologie que nous allons être conduits à développer transpose les principes de SAST et lui confère ainsi les atouts appréciables suivants :

- elle met l'activité du pilote au centre de la réflexion par le biais de la simulation ;
- elle fait appel aux pilotes des unités opérationnelles et pas aux pilotes experts des essais en vol ;
- elle s'affranchit de l'interface Rafale existante ;
- elle simule l'activité sur un support tangible mettant notamment en jeu le missile Meteor encore inconnu des pilotes et absent des simulateurs d'entraînement. Ce dispositif sort le pilote de son cockpit actuel et lui procure un point de vue simultanément allocentré et egocentré, lui permettant de concevoir son interface au cours de la simulation⁷ ;
- elle rassure les différents acteurs du programme en définissant leur fonction et leur rôle pour chacune des trois phases du projet. On y distingue une phase d'analyse préalable des situations d'activité servant de référence, une phase d'élaboration et d'évaluation de scénarios par la simulation, une phase de formalisation des exigences issues de la simulation jusqu'à la réalisation du projet.

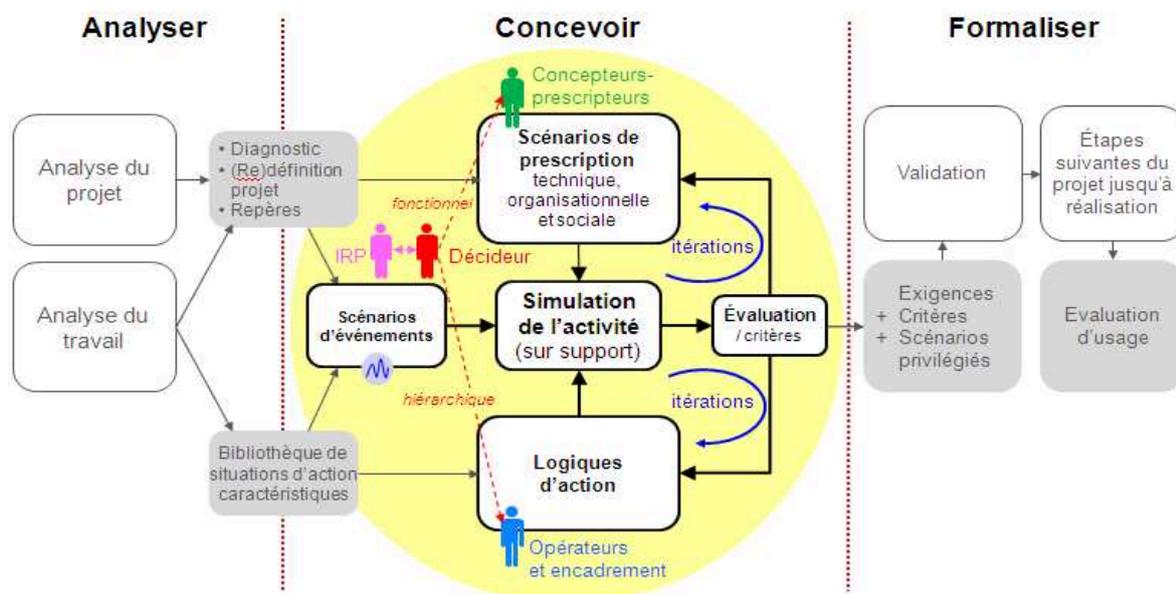


Figure 1. La démarche de conduite de projet en ergonomie de Barcelini, Van Belleghem & Daniellou (2013), s'appuie sur la simulation de l'activité sur support tangible (SAST)

⁷ Il n'existe pas de simulateur de conception « haute-fidélité » de ce type pour le programme Rafale ni pour les avions antérieurs

Notre démarche se distingue du processus de conception classique par son entrée et son orientation inversée. Habituellement, le concepteur part d'une visualisation (concrète) de l'interface informatique qu'il est en train de développer pour aboutir à une représentation mentale (abstraite) des effets escomptés de cet outil sur le terrain. Cette approche a déjà été identifiée comme risquée (Darses & Wolff, 2006) en raison des fausses représentations par le concepteur de l'usage futur de l'outil qu'il développe.

Ici, la conception démarre du terrain par une visualisation de l'activité simulée par le pilote sur un support représentant le champ de bataille pour co-construire les fonctions ou les informations correspondantes de l'interface à développer qu'il agrège sur une surface représentant le cockpit initialement vierge (cf. figure 2).

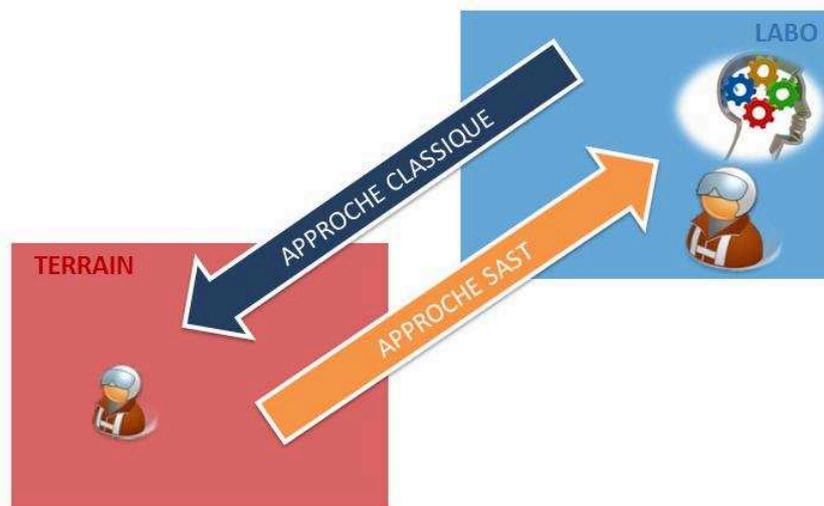


Figure 2. Notre démarche cherche à rapprocher le pilote du concepteur en transportant l'activité au sein du laboratoire de conception

1.3 Intégrer notre intervention dans le processus d'expression du besoin des armées

L'avionneur Dassault aviation se voit adressé un cahier des charges contenant les spécifications fonctionnelles du futur système élaborées par la DGA et les Etats-majors. Cette expression du besoin est conçue à la lumière du retour d'expérience des pilotes opérationnels (RETEX) et des études réalisées par des pilotes experts des centres d'essai en vol. Le retour d'expérience est essentiellement contenu dans les comptes rendus de

détachements, ainsi que par le suivi régulier d'un pilote expert - appelé OOU⁹, positionné en escadron. En retour, l'avionneur propose un « dossier produit » contenant la traduction technique du besoin qu'il a interprété de ces spécifications. Les armées, la DGA et l'avionneur constituent des filtres successifs transformant potentiellement la compréhension du besoin du pilote opérationnel, utilisateur final de l'avion en mission de guerre (cf. figure 3).

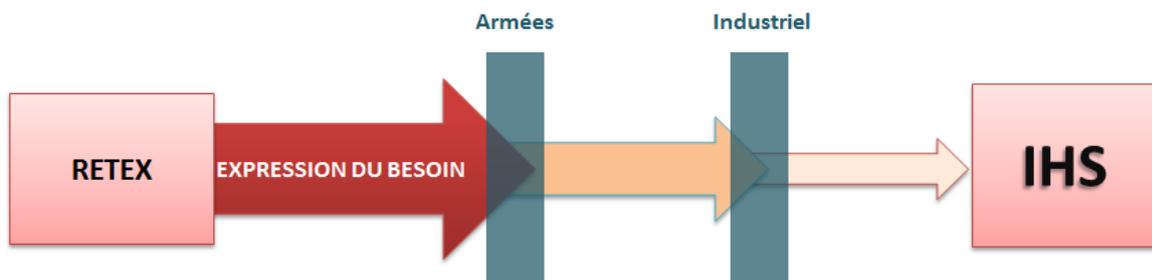


Figure 3. Transmission du besoin de l'utilisateur final en conception aéronautique militaire classique. Le retour d'expérience des utilisateurs finaux est traduit et filtré au niveau des armées et des industriels en charge de concevoir le matériel.

L'intervention ergonomique menée par le DMAO vise à réduire l'incertitude sur les propositions d'innovation et se détache des uniques données du RETEX. La stratégie d'intervention consiste à rendre l'activité du pilote de chasse accessible à tous les acteurs du projet rassemblés autour d'une table pour réaliser la simulation de cette activité sur un support tangible. Elle fait l'hypothèse que ce type de simulation à moindre coût, interruptible et propice à la réflexion, réduira les risques de mauvaises représentations en permettant aux pilotes des forces d'exposer les situations posant problème en contexte de missions et de construire des solutions collectivement. L'utilité des propositions innovantes sera systématiquement argumentée ce qui réduit le risque d'une conception inadaptée aux futurs usages (cf. figure 4). L'environnement créé doit permettre d'accueillir les confidences de chaque pilote lorsqu'il révèle ses modes opératoires lesquels ne respectent pas parfois les procédures standardisées. Pour cela, chaque séance de simulation se doit d'être intime et n'implique qu'un seul pilote à la fois. Dès lors, l'étude des interactions entre le pilote et l'animateur de la simulation ne représente pas un intérêt aussi marqué pour l'ergonomie que celui de démontrer la capacité d'une méthodologie nouvelle à produire des spécifications fonctionnelles de haut niveau d'abstraction.

⁹ Officier d'utilisation opérationnelle

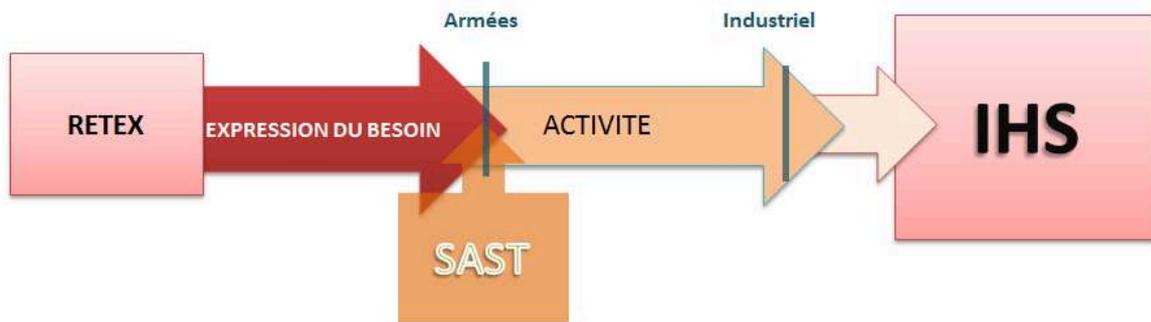


Figure 4. Avec l'introduction des principes de SAST, des filtres se réduisent, d'autres disparaissent. L'activité des opérateurs de première ligne se rapproche du concepteur. Leurs propositions innovantes sont mieux prises en compte. La qualité de l'interface s'améliore.

Le DMAO et les centres d'essais en vol se répartissent un travail de conception distribuée (Darses & Falzon, 1996). Ils conduisent simultanément les mêmes travaux sur l'IHS avec deux démarches différentes qui ne se font pas concurrence. Leurs points de convergence et de divergence seront analysés par la DGA au moment de produire le cahier des charges final.

2 Cadre théorique

2.1 Pilote de chasse : un métier nécessitant d'être créatif

La littérature concernant l'activité du pilote de chasse est assez pauvre. Elle est plus faconde pour ce qui concerne celle du pilote de ligne. Notre analyse de l'activité du pilote de chasse en situation réelle menée dans le cadre de nos travaux de recherche (Hauret, 2010 ; Darses, Hauret & Donnot, 2014 ; Hauret, Donnot & Van Belleghem, 2016) a confirmé le caractère singulier de ce métier. Chasseur mais aussi chassé, ce genre (Clot, 1999) de pilote n'a pas pour tâche de rejoindre avec le plus de confort et de prédictibilité deux points géographiques en respectant les procédures et les ordres du contrôleur aérien, à l'instar de son cousin pilote de ligne. Ses préoccupations sont toutes autres car, bien qu'évoluant lui aussi dans le ciel, il poursuit des objectifs radicalement différents. Plongé en zone hostile, s'il veut être performant et éviter de mourir, le pilote de chasse doit créer de l'incertitude chez son adversaire. Il joue aux échecs en confrontant sa stratégie à celle de l'adversaire, certes avec les contraintes aérodynamiques et les limites de sa machine, mais ici sans règle ni arbitrage. Se retrouvant souvent volontairement en situation de résolution de problèmes, il fait des inférences, a recours à des heuristiques, raisonne par analogie mais rarement par algorithme en raison des contraintes temporelles avec lesquelles il doit composer. Si le pilote de ligne se doit d'être prédictible pour son entourage, le pilote de chasse doit rester imprévisible aux yeux de son adversaire (Hauret, 2010). Il cherche donc à se retrouver en situations prévues, mais le plus fréquemment, les situations qu'il vit sont imprévues. Pensées comme possibles, mais parfois n'ayant jamais été pensées (Hollnagel, 2004), les situations imprévues et impensées qu'il rencontre sont le résultat de la combinaison des stratégies de ces deux acteurs qui s'affrontent. Ne disposant pas de règle prescrite ou informelle pour ces cas, qu'elles soient explicites ou implicites, formelles ou informelles, le pilote de chasse se retrouve donc en situation de résolution de problème qu'il doit affronter en faisant preuve d'originalité, de bricolage opportuniste et de compromis cognitif (Amalberti, 1996). Véritable inventeur de manœuvres tactiques, il doit être extrêmement créatif pour décider parfois en urgence, être efficace et survivre (Bourgy, 2012).

L'utilisation des armes, qui constitue l'essence même du métier, n'est possible qu'en conduisant simultanément plusieurs tâches d'intérêts connexes (cf. Figure 5 et Annexe 1). Dans cette activité dynamique à risque, plusieurs processus et préoccupations sont engagés simultanément et le modèle « multifils » (Amalberti, 1996) y trouve toute sa pertinence. Il ne suffit donc pas de limiter l'analyse aux quelques secondes écoulées avant le tir pour comprendre comment le pilote gère la variabilité des situations et les risques externes qu'elles comportent (cf. figure 7).

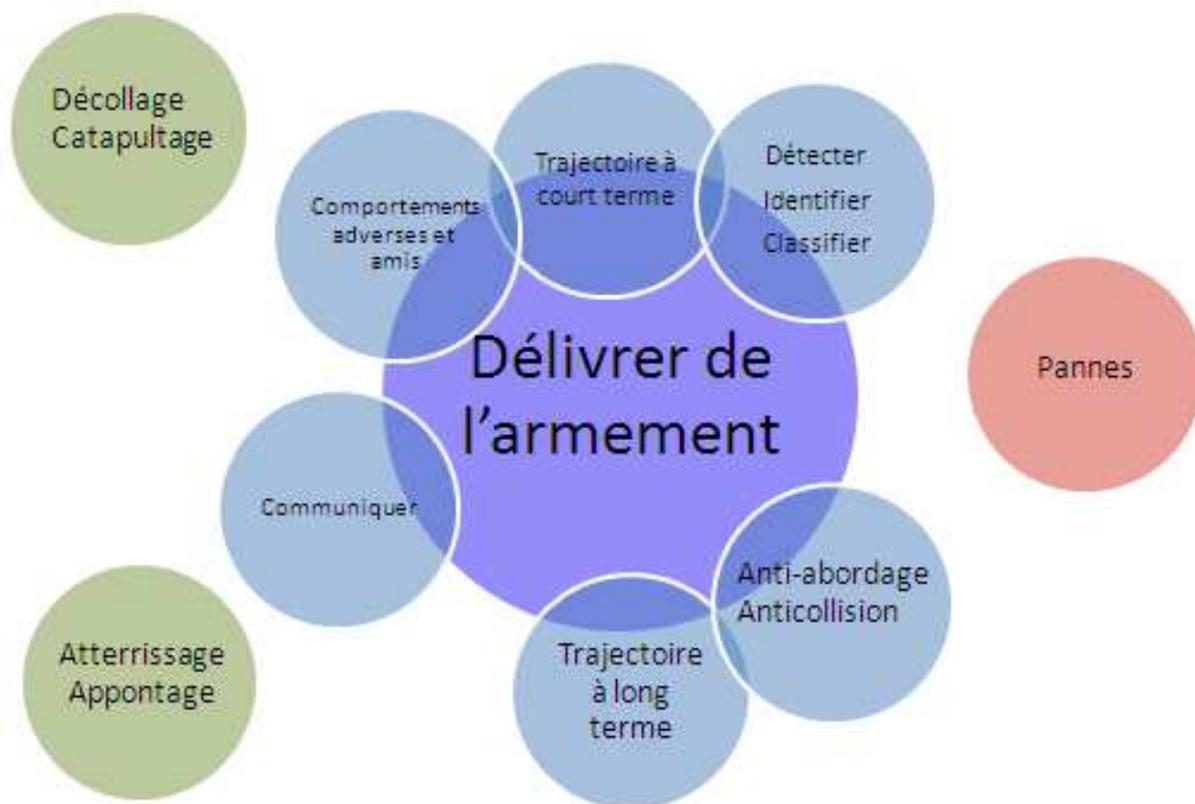


Figure 5. Les tâches connexes à la gestion de l'armement

Certains travaux récents (Guérin, Chauvin, Leroy & Coppin, 2013) visent à formaliser la complexité externe à laquelle doit faire face un pilote de chasse. Ces travaux analytiques mettent en évidence le lien entre la compréhension de la situation, la planification et la variabilité des tâches dépendantes qui en découlent. Il faut noter que le travail de ces chercheurs ne reste possible qu'en s'affranchissant du caractère dynamique de la situation et en se focalisant sur un processus isolé, celui de l'appui aérien de troupes terrestres (cf. figure 6).

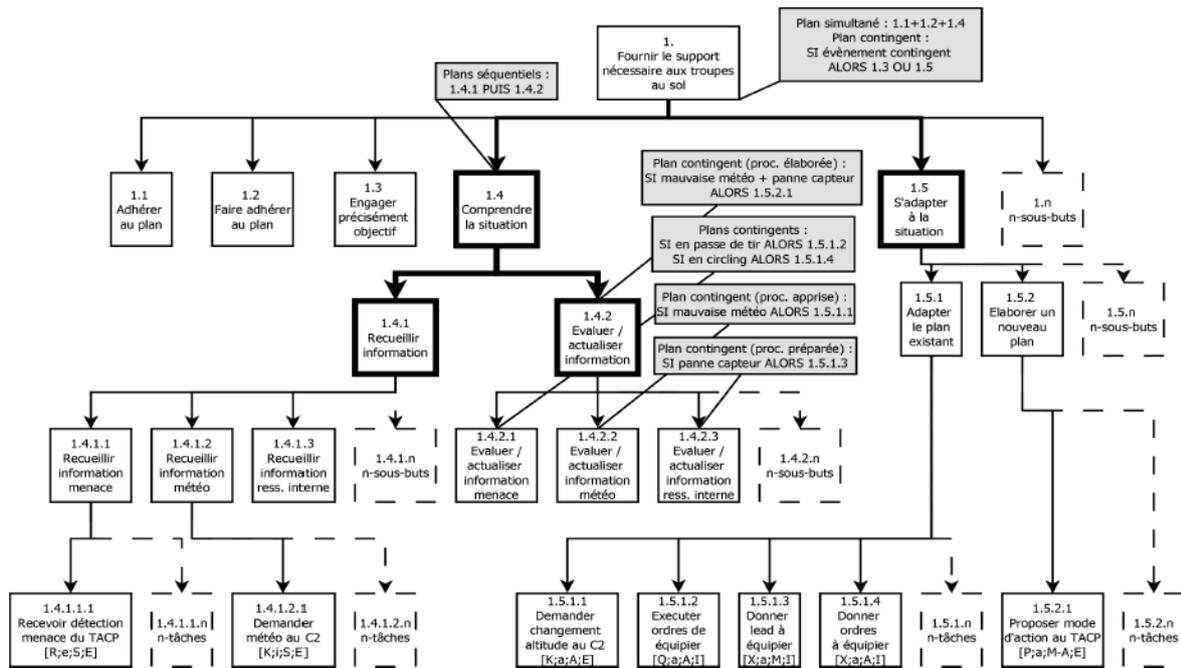


Figure 6. Décomposition hiérarchique des buts poursuivis au cours d'une mission d'actualité, celle de l'appui aérien des troupes au sol (Close Air Support / CAS) d'après Guérin, Chauvin, Leroy et Coppin (2013).



Figure 7. Les risques externes que le pilote de chasse intègre dans son compromis cognitif
 TIC : Troops In Contact / CAF : Clear Avenue of Fire / CDE : Colateral Damage Evaluation

2.2 Sources de conception innovante

2.2.1 Innovation et créativité

L'étymologie latine d'innover est « novare », qui signifie changer ou encore « novus » pour nouveau. Le préfixe « in » peut donner à ce terme au moins deux sens : celui d'introduire quelque chose de nouveau dans un système déjà établi ou bien celui d'entrer dans quelque chose de nouveau. Quel que soit le sens retenu, il s'agit d'un processus mouvant qui fait appel à l'inventivité des humains et dans lequel l'atteinte d'objectif est implicite.

La nuance entre créativité et innovation mérite d'être clarifiée. Si la créativité est définie comme « la capacité à générer une idée, une solution ou une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée à la situation et, dans certains cas, considérée comme ayant une certaine utilité ou valeur » (Bonnardel, 2009, p.8), alors on peut considérer que l'innovation représente la concrétisation du produit des activités créatives. Qu'elle vise un succès sur le marché ou tout simplement une amélioration de la performance, l'innovation¹⁰ est toujours le résultat de la concrétisation d'une idée créative.

La créativité suscite un intérêt croissant pour la communauté scientifique depuis le milieu du XXème siècle sous l'impulsion de Guilford (1950) qui déplorait le manque d'intérêt de la psychologie pour le sujet. Les travaux de Sternberg guident la discipline dans ce domaine. L'auteur propose le modèle de la confluence (Sternberg & Lubart, 1995 et 1996). Ils démontrent que la créativité naît de la confluence simultanée de plusieurs composantes. Tout d'abord, elle nécessite la combinaison de trois aptitudes intellectuelles : la facilité à changer de point de vue face à un problème (synthetic), le discernement pour choisir la bonne option (analytic), le pouvoir de persuasion par adaptation de l'argumentation au contexte. Un socle de connaissances sur le domaine, le style de raisonnement, la personnalité et la motivation, comme le démontre également Amabile (1983), complètent les composantes intrinsèques à l'acte créatif. Enfin, le modèle intègre l'influence de

¹⁰ Dès 2014, 79 milliards d'euros ont été engagés pour le programme de recherche et d'innovation de l'Union européenne baptisé « Horizon 2020 »¹⁰. Il couvre la chaîne de l'innovation, de l'idée de départ jusqu'au marché. L'innovation est polymorphe. Le manuel d'Oslo de 2005¹⁰, qui fixe depuis 1992 les principes directeurs de l'innovation pour les pays membres de l'OCDE identifie quatre catégories : les innovations de produit, les innovations de procédé, les innovations de commercialisation et les innovations d'organisation. « *L'innovation de produit correspond à l'introduction d'un bien ou d'un service nouveau ou sensiblement amélioré sur le plan de ses caractéristiques ou de l'usage auquel il est destiné* ».

l'environnement. Il est ainsi possible de comprendre les mécanismes de production créative.

Les travaux de Torrance (1966) proposent d'autre part une approche complémentaire qui consiste à évaluer la créativité selon quatre critères : la fluence (nombre d'idées produites), la flexibilité (variance des idées), *l'originalité* (unicité de l'idée) et le raffinement (niveau de détails) des idées. Mais Sternberg se distingue de l'approche psychométrique de Torrance en proposant une catégorisation des diverses contributions de la créativité selon leur impact sur le champ. La théorie de la propulsion (Sternberg, 1999) classe les huit formes de créativité en trois catégories :

- celles qui acceptent le paradigme en vigueur (réplication, redéfinition, incrémentation et incrémentation forte) ;
- celles qui rejettent le paradigme en vigueur (redirection, reconstruction et réinitialisation) ;
- celles qui intègrent plusieurs paradigmes.

On pourra particulièrement retenir que même la réplication est en soi un acte créatif.

2.2.2 Créatif pour et par l'action

Un courant assez traditionnel porté par la sociologie avec Weber (1965) défend l'idée que l'action est rationnelle, qu'elle est guidée par le moyen, la fin, la valeur et la conséquence. On rejoint ici le modèle de l'activité humaine en « unités » de Leontiev (1984) qui considère l'action comme un processus guidé par des buts conscients et qui décrit l'activité comme animée par un motif.

Un autre courant de la sociologie allemande, porté notamment par Luhmann (1968) et Joas (1999), n'oppose pas l'action créative à l'action rationnelle ou routinière, mais défend l'idée que dans l'action située, la créativité peut également être irrationnelle. Ce courant considère qu'une variante du schéma de la fin et des moyens peut être « le moi du sujet agissant lui-même qui joue le rôle de cause » (Joas, 1999. p.30). Le risque de négliger le contexte, la situation, devient majeur car « *nous ne percevons une situation qu'en fonction de nos aptitudes et de nos dispositions à agir* » (Joas, 1999. p.171). Afin de concrétiser le lien existant entre la créativité de l'agir et le besoin, l'auteur prend l'exemple de la rencontre amoureuse, déjà utilisé par Dreyfus (1979) : « *Lorsqu'un homme tombe amoureux, il est amoureux d'une femme bien définie, mais ce n'était pas de cette femme en particulier qu'il éprouvait le besoin* avant de tomber amoureux. Pourtant, une fois

amoureux, autrement dit à partir du moment où il a trouvé satisfaction dans cette relation bien précise, ce besoin devient plus spécifique, il est le besoin de cette femme-là, et *l'homme vient de faire sur lui-même* une découverte créative. Il est devenu un nouvel individu, caractérisé par le besoin de cette relation spécifique, et il a l'impression qu'elle lui manquait depuis toujours. Dans ce genre de découverte créative, le monde revêt une *signification toute nouvelle, qui n'est le résultat ni d'une découverte pure et simple, ni d'une décision arbitraire* » (Joas, 1999. p. 173). Cet exemple illustre l'articulation délicate entre rationnel et irrationnel qu'il convient de ne pas dissocier lors d'une analyse de l'activité.

Si le modèle de Leontiev qui articule l'action, l'intention et le moyen d'agir est parfaitement adapté pour analyser une action rationnelle, on peut aussi considérer que le questionnement selon ce triptyque permet également de détecter les actions irrationnelles créatives. Originales, mais pas rattachées à une intention précise, ces dernières peuvent devenir rationnelles par l'introduction d'un nouveau moyen d'agir ou par une réflexion sur l'intention. Ce mécanisme d'analyse peut s'avérer crucial pour une conception innovante guidée par l'utilité.

Comprendre le besoin, ou plus précisément construire collectivement un besoin, revient à argumenter de son utilité. En conception, « *les besoins, comme l'utilité, ne sont pas donnés a priori ...l'utilité de tout artefact n'est pas une propriété donnée mais construite et évolutive* » (Loup-Escande, Burkhardt & Richir, 2012, p. 36). L'utilité d'un artefact évolue avec les schèmes d'usage et les modifications que le sujet y apporte (Bourmaud, 2007) si bien que l'on peut argumenter pour un même artefact de son utilité destination et de son utilité valeur. *L'utilité destination* concerne les propriétés et les fonctionnalités de l'artefact ; *l'utilité valeur* concerne les bénéfices qu'apporte l'artefact. Les arguments autour de l'utilité ou du besoin sont donc de diverses natures, car il peut s'agir de besoin individuel, collectif, conscient, non conscient, ou latent car non imaginé (Loup-Escande, op. cit.p.34).

2.2.3 Des méthodes pour stimuler la créativité

Les exigences d'innovation pour la conception ont donné naissance à un arsenal de méthodes et outils ayant pour objectif de stimuler la créativité. En parallèle, les méthodes modernes de conception réduisent leur cycle et évoluent vers des processus itératifs qui

laissent peu de temps aux idées créatives pour émerger car réduisent les capacités d'action des concepteurs. Il faut viser juste au plus tôt dans le projet (cf. figure 8).

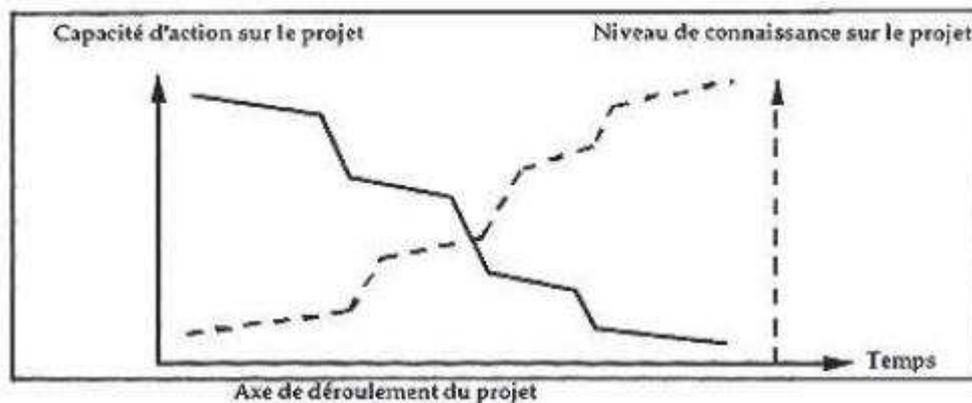


Figure 8. Les marges d'action des concepteurs se réduisent avec l'avancement du projet (Midler, 1993)

L'analyse des usages dans les processus d'innovation pour la conception est un outil dont la pertinence a été démontrée. Elle permet aux concepteurs d'envisager l'usage futur d'un produit. Pour cela, ce processus peut être décomposé en analyse rétrospective et en analyse prospective (Nelson, 2011). L'analyse rétrospective étudie les situations existantes ou passées, tandis que l'analyse prospective tente de les anticiper. Dans ce second domaine, le vide méthodologique en science de la conception laisse une place libre à l'ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2012). Parmi les différents types de techniques de créativité, le brainstorming et la simulation sont les plus répandus. La technique de créativité des « personas » démontre une forte capacité de production d'idées mais n'apporte aucune garantie sur leur qualité ce qui ne la rend peu intéressante pour la conception aéronautique militaire. Les principes d'Osborn (1957) valorisent la fluence et la qualité des productions créatives d'un collectif adoptant le brainstorming pour une résolution créative des problèmes. Le modèle de Creative Problem Solving rappelle les étapes incontournables de la méthode : définition du problème et préparation du terrain (fact-finding), génération d'idées divergentes (idea-finding) et sélection des idées pertinentes (solution-finding). La question de l'évaluation de cette pertinence reste entière. Il en va de même de la question de la convergence des idées pertinentes dans la mesure où ce besoin est nécessaire. La méthode du brainstorming, bien que très répandue, est pourtant critiquée notamment par Mullen, Johnson et Salas (1991). Ces derniers démontrent qu'il existe une perte de production du groupe pratiquant le « brainstorming » pour plusieurs raisons : la paresse sociale (social loafing) dans laquelle l'individu pense

que sa contribution n'est pas essentielle, l'inhibition sociale par crainte du jugement et le blocage de production en raison des règles de prise de parole qui peuvent rendre volatiles ou non pertinentes les idées de chacun. En conception, la voie du « brainstorming individuel » guidé reste donc intéressante à explorer.

S'il est important pour le brainstorming de varier les points de vue pour optimiser le recueil d'idées divergentes, il est nécessaire de fixer le cadre de la réflexion lorsqu'il s'agit de résoudre un problème de conception. Pour cela, des outils intermédiaires utilisés en simulation permettent de réduire la divergence de représentation du contexte. « La simulation vue comme une dimension intrinsèque de la conception (...) permet à la fois une exploration du champ des possibles et participe au processus de *réduction d'incertitude* » (Béguin & Weill-Fassina, 1997, p.9).

2.3 La simulation pour révéler les usages

L'intervention ergonomique utilise la simulation pour concevoir des situations de travail (Barcellini, 2015) et identifier les conditions de leur réalisation (Maline, 1997). En général, l'engagement des simulations prend place dans une conduite de projet comprenant au moins trois phases (Barcellini et coll., 2013) :

- une phase d'analyse préalable des situations d'activité servant de références ;
- une phase d'élaboration et d'évaluation de scénarios par la simulation ;
- une phase de formalisation des exigences issues de la simulation jusqu'à la réalisation du projet.

La conception des situations et le jeu de simulation se déroulent en groupe de manière collaborative, ce qui favorise les confrontations de point de vue et permet de comprendre le cheminement du groupe, les difficultés rencontrées, les évolutions de la situation de simulation et les enseignements tirés (Barcellini, 2015). L'importance de varier les points de vue s'explique par la question des représentations mentales. On distingue deux types de représentations : d'une part la connaissance qu'un individu peut avoir d'un phénomène avant de passer à l'action, et d'autre part le processus par lequel l'individu se construit une image d'un phénomène et qui peut être synonyme d'interprétation (Maline, 1994).

2.3.1 Ajuster le choix de l'outil de simulation au juste besoin

La simulation peut faire appel à deux des trois types d'outils intermédiaires de représentation que sont : les outils de projection tels que le dessin ou la réalité virtuelle, les outils de projection/simulation tels que les maquettes ou les plans et enfin les outils de simulation/expérimentation tels que les prototypes ou les maquettes à échelle 1 (Maline, 1997). Le choix de l'outil intermédiaire de représentation est souvent guidé par le critère de fidélité (cf. figure 9). Pourtant, la fidélité n'est pas toujours nécessaire pour la simulation. « *On pourrait expliquer l'efficacité des simulateurs de faible fidélité fonctionnelle, en prenant en compte le fait que le sujet peut apporter dans son activité de simulation des composants issus de ses représentations ou de son expérience de la situation de référence ou du type de situation de référence* » (Rogalski, 1997, p. 72). Un support tangible, c'est-à-dire palpable, s'avère souvent être un outil de représentation plus adapté qu'un support virtuel. Il offre en effet l'avantage de concrétiser la situation conçue, facilitant ainsi la représentation que peuvent en avoir les sujets pour pouvoir mieux en manipuler les déterminants dans le cadre de la conception (Van Belleghem, 2016). « *Les acteurs ne s'investissent pas seulement parce que le simulateur est réaliste mais le simulateur est réaliste parce que les acteurs l'investissent de leur propre expérience* » ... « *La réalité du simulateur est prise au sérieux par les acteurs dans la mesure où ils la rapportent inconsciemment à l'historicité du vol* » (Dubey, 1997). Les réductions de l'environnement, qui peuvent être perçues de prime abord comme un défaut de fidélité fonctionnelle, s'avèrent utiles à la compréhension de certains phénomènes du fait même de la schématisation (Samurçay & Rogalski, 1998). Le réalisme du simulateur n'est donc pas la clé du problème de conception ; ce sont plutôt les situations de simulation qui sont jouées.

Type de prototype	Avantages	Inconvénients
Basse fidélité (ex. prototypage papier)	<ul style="list-style-type: none"> - Faible coût de développement - Possibilité d'évaluer des concepts multiples - Outils utiles à la communication entre acteurs du projet - Outils utiles pour identifier les besoins du marché - Documents de type <i>proof of concept</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu de possibilités pour repérer des erreurs - Faible puissance pour assister la conception détaillée - Travail guidé par un animateur - Peu utiles une fois que les besoins ont été définis - Peu utiles pour tester l'utilisabilité - Faible interactivité
Fidélité élevée (ex. maquette fonctionnelle)	<ul style="list-style-type: none"> - Fonctionnalités complètes - Objets intermédiaires très interactifs - Processus orienté par les usagers - Définition claire du schème de navigation - Utilisation à des fins exploratoires et confirmatoires - Accès au <i>look and feel</i> du produit final - Illustre de manière vivante les spécifications du produit - Outil pour le marketing et la vente 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus coûteux à développer - Plus long à développer - Peu efficace pour prouver la pertinence d'un concept de produit - Peu efficace pour le recueil des besoins

Figure 9. Avantages et inconvénients des prototypes de haute et basse fidélité adapté par Nelson (2011) d'après Rudd et coll, (1996).

Une maquette du futur artefact est souvent utilisée comme support de conception. Pour qu'elle puisse être utile à la simulation, cette maquette doit répondre à trois exigences (Van Belleghem, 2012) :

- permettre la représentation des éléments de prescription afin de pouvoir faire évoluer les caractéristiques de l'artefact ;
- permettre la modification collective de ces scénarios de prescription ;
- permettre de « jouer » l'activité.

L'usage d'un avatar s'avère pertinent pour l'immersion dans la simulation. L'avatar est à l'origine l'incarnation d'un dieu ou d'une personne dans un objet ou un animal. L'analogie avec les jeux de plateau est forte. A l'image de l'enfant qui « est » le petit cheval qu'il déplace sur les cases, l'opérateur « est » la figurine qu'il déplace dans son environnement de travail. Un marqueur de l'incarnation dans l'action est l'usage du présent de l'indicatif associé au pronom personnel « je ». Dans des projets à dominante abstraite (conception d'une organisation, d'une interface nouvelle), un effort d'imagination doit être engagé pour concevoir un avatar adapté aux dimensions de l'activité que l'on souhaite voir simuler.

Les travaux de conception en aéronautique s'appuient sur deux types de simulations : les « micro-mondes » et les simulateurs pleine échelle à « haute-fidélité ». Dans les deux cas, on retrouve toujours un sujet placé dans une « boîte » aux commandes d'un système informatisé. Les premiers sont des simulateurs partiels qui se focalisent sur des variables jugées cruciales et permettent de tester leurs effets sur le sujet (phase de prototypage par exemple). Ils ne prennent pas en compte l'ensemble des déterminants de l'activité, si bien que les résultats restent difficilement généralisables. Destinés à l'instruction et à l'entraînement, les simulateurs pleine échelle à haute-fidélité sont très réalistes mais limitent les possibilités de comparaison des résultats entre sujets dont les actions génèrent des conditions non maîtrisables par le chercheur. Ils ne sont donc utilisés qu'à des fins d'instruction et d'entraînement. De plus, les fortes contraintes temporelles de conduite ne permettent pas au sujet d'explicitier ses actions et ses intentions à voix haute sans impacter la performance qu'il est en train de réaliser. L'utilisation de simulation facilement interrompible, accessible à tous les participants à travers un support tangible pour simuler une activité réalisée dans un système dynamique, DiSTASyD est un type de dispositif qui n'a encore jamais été utilisé en conception aéronautique de Défense.

2.3.2 Situer l'action pour révéler les usages

Les conditions d'utilisation des simulateurs ont donc un rôle aussi important - voire plus, que les caractéristiques du système lui-même. L'accent doit être mis sur les caractéristiques des situations mises en scène dans lesquelles le simulateur ne jouera que le rôle de médiateur (Samurçay & Rogalski, 1998). Une séance de simulation s'appuie sur un scénario. Il s'agit de dérouler « une intrigue (plot), c'est-à-dire des séquences d'actions ou d'évènements réalisés par - ou bien arrivant aux acteurs » (Caroll, 2000, cité par Nelson 2011). Pour cela, plusieurs formes de scénarios sont combinées (Barcellini, Van Belleghem & Daniellou, 2013) :

- le scénario de prescriptions fixe le cadre technique, organisationnel et social qui vise à être modifié au cours des itérations réalisées au cours de la simulation,
- le *scénario d'évènements* qui conduisent à simuler des situations d'actions caractéristiques. Ces situations sont essentielles car elles regroupent l'ensemble des déterminants dont la présence simultanée va conditionner la structuration de l'activité (Daniellou, 2004) qui sera transposable aux situations futures (Béguin & Weill-Fassina, 1997),

- le *scénario d'usage* qui révèle les logiques d'action des utilisateurs impliqués dans la simulation (modes opératoires des experts métiers).

Dans le cadre de la conception innovante, la confrontation des usages aux scénarios de prescriptions spéculatifs permet de les éprouver ou de tester des idées concernant l'usage futur du produit (Hanington, 2003). En effet, « *le scénario n'est pas seulement un outil descriptif mais un outil créatif. Il est composé de plusieurs variables qui peuvent être manipulées afin d'explorer des possibilités d'usage et donc des sources de valeur inédites* » (Nelson; 2011 p.62). Les cas d'usages (use case model) jouent un rôle fondamental dans l'efficacité de la simulation mais également dans tout projet de conception quelle que soit la méthode retenue. « Dans le pire des cas, ils devront être élaborés au moment de rédiger le guide d'utilisation du produit. ... autant les définir au plus tôt, au cours de la phase de spécification, afin que le développement dans sa globalité en tire les bénéfices » (Jacobson, 1995, p.310¹¹).

2.3.3 Une interaction pour la réflexivité

L'animateur est un gestionnaire d'environnement dynamique (Samurçay & Rogalski, 1998). Le rôle de l'animateur a été analysé en particulier au sein des communautés en ligne (Barcellini, Détienne & Burkhardt, 2008). Il initie l'action ou du questionnement, relance et coordonne les interventions des différents membres du collectif prenant part à la simulation. Ces auteurs déplorent d'ailleurs le manque d'aides permettant de guider cette activité particulière. Le travail collaboratif de groupe sur les situations simulées et l'artefact à développer stimulent la « conversation avec la situation » (Schön, 1996). Lors de ces prises de position réflexives, le pilote explore deux univers : un univers rétrospectif quand il s'agit d'étudier des situations d'usages existantes et un univers prospectif quand il s'agit d'anticiper des situations d'usage potentielles (Nelson, 2011). La discussion permanente entre ces deux univers et leur exploration approfondie, au besoin par le guidage de l'animateur, produit deux sortes de données par le prisme de l'utilité (Loup-Escande, Burkhardt & Richir, 2012) : des informations dont l'utilité est réelle (rétrospectif) et des informations dont l'utilité est potentielle (prospectif). Ces dernières sont élaborées à partir de l'expérience individuelle et de la capacité créative de chacun des membres réalisant la simulation.

¹¹ Traduction libre

2.4 L'argumentation dans la conception comme outil de conception

L'ergonomie est bien présente en sciences de la conception. Longtemps considérés comme absents des phases idéatives et « inspecteurs des travaux finis » (Kankainen, 2003 cité par Nelson, 2011), les ergonomes occupent aujourd'hui une place prépondérante avec l'amplification des méthodes de conception centrées utilisateur qui s'appuient sur des processus itératifs de type Agile. Ils y jouent le rôle d'ingénieur du besoin capables de comprendre le travail en identifiant les problèmes pour le transformer en proposant des solutions (Daniellou, 2004, p. 355). Les organisations attendent ainsi de l'ergonome cette capacité à résoudre les problèmes (ergonomie de correction) ou à éviter leur apparition (ergonomie de conception). Bien que dans le cadre d'un projet, « la coordination des actions est de mieux en mieux encadrée à l'aide de méthodes organisationnelles et d'environnements informatiques spécifiquement orientés vers le travail collectif, il existe en revanche peu d'outils dédiés aux phases de résolution conjointe des problèmes » (Darses, 2006, p.318). Les méthodes de l'ergonomie apparaissent comme les bienvenues.

Les méthodes de conception coopérative telles que les séances de créativité, les méthodes de décomposition de tâches ou d'analyse fonctionnelle donnent lieu à « des débats argumentatifs au cours desquels des idées sont confrontées, des décisions sont évaluées et des points de vue sont opposés » (Darses, 2006, p.318). L'analyse de l'argumentation est reconnue comme étant le socle incontournable de la compréhension d'un problème par cadrage du contexte (Karsenty, 2000) et de sa résolution par la conception fréquente d'artefact adapté (Rittel, 1972). Mais la résolution de problèmes n'est qu'un pilier de l'activité collective de conception. Détienne (2006) en distingue également deux autres : la coordination des tâches du collectif et la communication au sein du collectif. La place centrale qui est donnée à la communication, et particulièrement l'argumentation en conception, est en soi une piste d'outil dédié à la résolution de problème. Autrement dit, le pilier communication peut servir au pilier résolution de problèmes. Quelle serait donc la puissance de l'argumentation ?

Argumenter, « *c'est une démarche par laquelle une personne - ou un groupe - entreprend d'amener un auditoire à adopter une position par le recours à des présentations ou assertions – arguments – qui visent à en montrer la validité ou le bien-fondé* » (Oléron, 1983, p.4 cité par Darses, 2006, p.320). On retrouve ici la qualité argumentative nécessaire à la créativité (Sternberg, op. cit.). Certains auteurs voient aussi dans l'argumentation une

fonction dialectique ayant pour but d'asseoir une position, un statut, une expertise (Cahour, 2002).

Si l'argumentation doit devenir un outil d'analyse, il paraît alors nécessaire de faire le tri parmi les expressions de besoin polymorphes évoquées. Les arguments sur l'utilité d'un produit s'appuient sur des critères qui dépendent du point de vue adopté. Ce point de vue peut être très concret ou très abstrait, global ou détaillé. Rasmussen (1986) propose dans le modèle appelé « hiérarchie d'abstraction », repris par Bisantz et Vicente (1994), de catégoriser les critères d'un système de manière orthogonale. Le premier axe correspond à une « **hiérarchie de raffinement** » par décomposition du système en sous-systèmes ou registres de référence. Le second axe correspond à une « **hiérarchie de mise en œuvre** » décomposée en cinq niveaux d'abstraction. Ces niveaux d'abstraction correspondent au point de vue adopté pour décrire le critère évoqué :

- 1°/ objectifs fonctionnels : ce pour quoi il a été conçu
- 2°/ fonctions abstraites : lois physiques, les règlements, etc.
- 3°/ fonctions générales : fonctions fondamentales à réaliser
- 4°/ processus physique : comportement des composants
- 5°/ formes physiques : caractéristiques, localisation, etc.

Les travaux en sciences de la conception (Darses, 1994 ; Visser & Bonnardel, 1989) montrent qu'il existe une propension à manipuler les niveaux bas d'abstraction. Les concepteurs pensent « solution » plutôt que « fonction » et ce d'autant plus facilement que le recours à des solutions du passé reste possible. Il est cependant intéressant, dans le cadre d'une innovation utile à risque maîtrisé, de considérer qu'un niveau d'entrée bas est alimenté par une solution issue d'une analogie (Bonnardel, 2009) ou d'une routine déjà existante, ce qui permet de ne pas fragiliser les usages établis. Les recherches conduites en conception montrent que le modèle de Rasmussen à cinq niveaux se réduit souvent à trois niveaux: représentation abstraite, représentation structurelle et représentation opératoire (Darses, 2006).

Bien que des critiques sur la validité externe du modèle de Rasmussen sont émises et réclament des travaux d'ordre méthodologique pour que la construction de cette hiérarchie soit précisément guidée, mais aussi suffisamment flexible (Lind, 1999), l'intérêt du modèle repose sur le principe de sa construction qui le rend facilement adaptable au système étudié.

Les travaux qui sont menés aujourd'hui sur les activités de conception insistent sur l'importance du caractère situé de la résolution d'un problème de conception (Darses, Détienne & Visser, 2004). Cette tendance allège le processus argumentatif d'un des deux axes essentiels, celui du cadrage du réel et de la mise en contexte par synchronisation cognitive. L'action située laisse plus de place au second pilier : la réflexivité. Cette réflexion sur l'action devient ainsi un véritable outil de résolution de problèmes (Schön, 1996, cité par Bibauw & Dufays, 2013).

Cette conversation réflexive avec la situation pour en extraire des solutions aux problèmes identifiés est favorisée par l'utilisation d'artefacts comme représentations intermédiaires. Les processus de conception font pour cela appel à l'utilisation intensive de différents types de représentations externes - dessins, graphiques, documents, notes, maquettes ou prototypes. Certains auteurs considèrent que ces artefacts mis en situation d'utilisation ont une fonction bien plus puissante que celle de la simple représentation des informations contextuelles. Ils deviennent en effet des « instruments » (Rabardel, 1995) permettant de développer des schèmes d'usage¹². Cet « artefact cognitif » selon Norman (1993) ne doit pas pour autant être complètement représentatif de sa forme réelle. Cette idée est reprise par Van Belleghem (2016) pour qui un support tangible, c'est-à-dire palpable, s'avère souvent être un outil de représentation plus adapté qu'un support virtuel. Il offre l'avantage de concrétiser la situation conçue facilitant ainsi la représentation que peuvent en avoir les sujets pour pouvoir mieux en manipuler les déterminants dans le cadre de la conception.

¹² Selon Piaget, l'interaction entre le sujet et ses actions aboutissent à un équilibre produit par l'action conjuguée des mécanismes d'assimilation et d'accommodation.

3 Problématique

L'intégration d'un nouveau missile sur le Rafale nécessite d'innover. Par l'introduction de nouveaux usages, l'innovation comporte le risque de bouleverser ceux établis par les pilotes opérant déjà sur le système actuel. Parce qu'ils sont les utilisateurs impliqués dans les conflits actuels, les pilotes des escadrons opérationnels représentent une ressource précieuse pour innover « utile », avec l'efficacité nécessaire et la maîtrise du risque attendue.

L'accès au terrain qui permet d'observer pour comprendre l'activité est difficile voire impossible : le pilote est à bord d'un avion monoplace et se déplace à la vitesse du son. La simulation est un recours acceptable sous réserve de sa validité écologique. Elle doit permettre d'accéder au raisonnement des pilotes pendant l'action et de leur faire prendre conscience de l'effet de leurs actions. Les simulateurs dynamiques d'entraînement pleine échelle dits « haute-fidélité » ne permettent pas de représenter des situations prospectives, détériorent la performance du sujet explicitant ses actions et ses intentions à voix haute et autorise difficilement d'interrompre l'action à volonté.

En conception, les outils prospectifs pour analyser les usages ne sont pas nombreux. Parmi les méthodes existantes permettant de générer des idées créatives et divergentes, la simulation sur support tangible se distingue car elle place les participants dans l'action. A l'origine, SAST est destinée à concevoir des situations de travail et à identifier les conditions de leur réalisation. Dans ce cadre, un groupe de travail interdisciplinaire constitué de représentants métiers réalise la simulation et fait évoluer par itérations les scénarios de prescription et de ce fait les usages futurs probables (cf. figure 10).

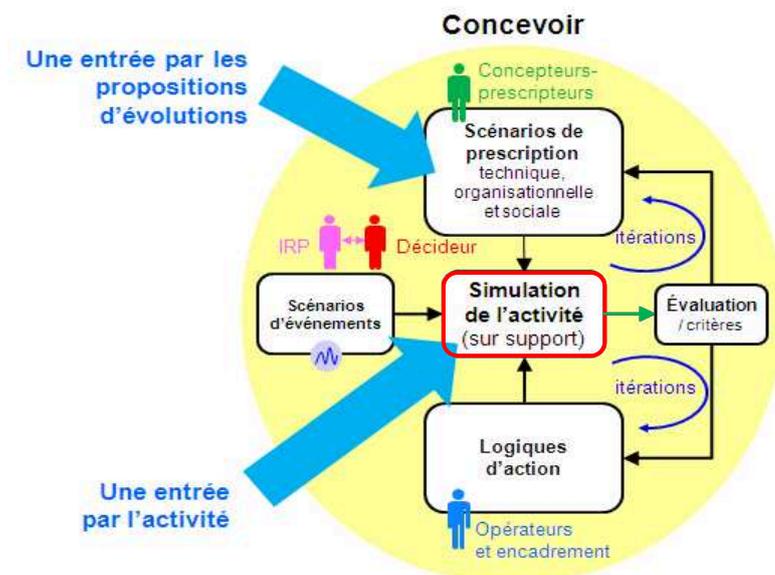


Figure 10. Il existe deux entrées possibles pour la simulation.

L'approche SAST propose de débiter la simulation à partir d'un support qui porte les prescriptions sur lequel les utilisateurs viennent déployer leur activité. Notre démarche de transposition de SAST à l'innovation en aéronautique militaire a mis à jour le besoin (1) de concevoir un support spécifique (cf. figure 10 encadré rouge) et (2) de s'assurer de sa capacité à produire des idées innovantes (cf. figure 10 flèche verte).

Les supports — Sur un premier support, nous avons gardé les prescriptions concernant le contexte d'emploi et les capacités techniques de l'avion (les missions, les armes et les capteurs). Nous avons enlevé les prescriptions techniques du cockpit en proposant un second support représentant une cabine vierge qui permet de libérer l'activité en cabine et par conséquent la créativité des pilotes. Notre **dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD)** permet de récupérer les besoins fonctionnels des pilotes confrontés à des situations de résolution de problème pour lesquelles des solutions innovantes se cristalliseront parfois sur le second support et produire des prescriptions de la future cabine du Rafale.

Produire des idées utiles — Le métier de pilote de chasse nécessite au départ et développe par la suite de la créativité pour survivre. Les pilotes de Rafale constituent donc une population intéressante à recruter dans le cadre d'un processus d'innovation pour la conception. Mais ces pilotes ne sont pas nécessairement des concepteurs dans l'âme. Pour parvenir à exploiter leurs capacités créatives, il est nécessaire de les guider dans leur réflexion. Par un guidage et une argumentation systématique sur l'action, l'intention et les

moyens nécessaires pour construire et satisfaire leur action, les pilotes utilisateurs du Rafale peuvent révéler à partir du support statique animé pas-à-pas, l'intimité de leur activité dans le cockpit en rapport avec l'effet de leur avion sur l'environnement. Grâce à la reproductibilité des scénarios d'évènements conçus, il est possible de solliciter individuellement une multiplicité d'acteurs aux profils variés afin de privilégier la variabilité interindividuelle et de produire un maximum d'idées divergentes innovantes et utiles.

Faire converger les idées pour le prototypage — La méthodologie que nous déployons n'a d'utilité que si elle permet de fournir à l'avionneur une solution innovante intégratrice des propositions recueillies sans les altérer (cf. figure 11). La méthode d'analyse des argumentations de chaque pilote concevant son cockpit doit permettre d'accéder à des niveaux d'abstractions plus élevés que la simple solution graphique et de renforcer ainsi la compréhension du besoin fonctionnel. La mise en convergence de ces propositions devra permettre de créer, de déstructurer ou de développer certaines fonctions ou informations et de produire des spécifications fonctionnelles qui serviront à développer le futur prototype de cockpit du Rafale

Habituellement, SAST permet de mettre à jour les interactions entre acteurs de la conception et d'aboutir sur une proposition de prototype. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous attacherons à démontrer comment notre méthodologie spécifique inspirée de SAST permet de produire des spécifications fonctionnelles difficiles à obtenir par des outils usuels, pour une conception innovante et utile.

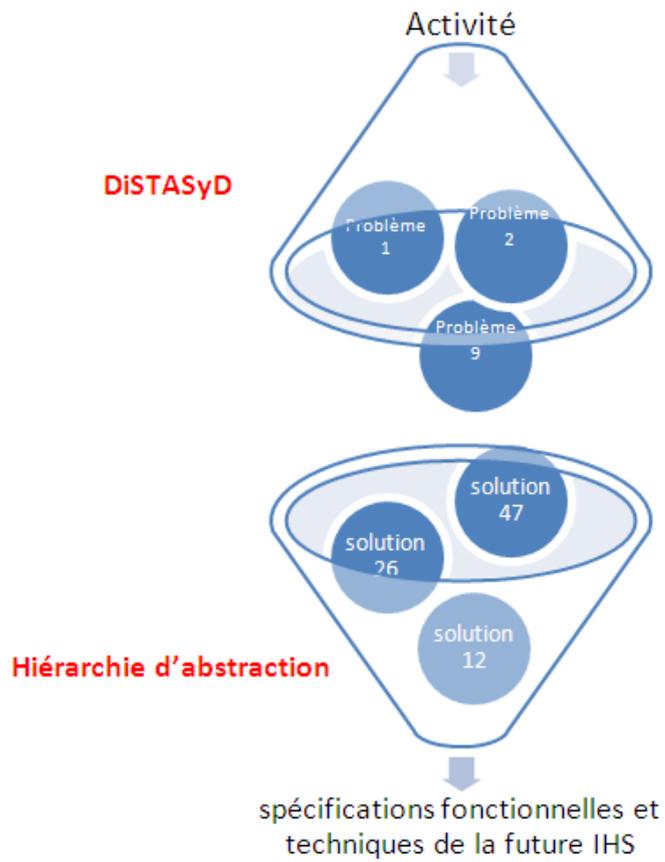


Figure 11. Méthodologie de construction du besoin : DiSTASyD vise à faire diverger les idées et la Hiérarchie d'abstraction à les faire converger

4 Analyse de l'activité de conduite de tir

4.1 Observations terrain et entretiens

L'intégration des scénarios de prescriptions et la recherche de situations d'activité servant de références nécessitent une phase d'analyse de l'activité préalable à la simulation (cf. figure 1). Cette phase initiale contribue à la validité écologique de notre méthodologie. Afin de profiter de l'expérience accessible dans une situation existante, dix pilotes de Rafale confirmés (totalisant chacun plus de 1000 heures de vol) de l'escadron de chasse opérationnel RC 2/30 « Normandie Niemen » de Mont-de-Marsan ont été suivis pendant 5 jours. Des observations ouvertes ont été réalisées lors des briefings et des débriefings de vols réels d'entraînement au combat. Des entretiens d'autoconfrontation conduits à l'issue des débriefings de mission ont été menés et filmés avec pour objectifs d'identifier les déterminants et les repères influant lors des phases d'utilisation de l'armement. Toutes les configurations de la cabine et les procédures relatives à l'emploi des armements du Rafale ont été explorées (AASM, MICA, SCALP, Canon, AGL et AM39)¹³ hormis l'ASMP/A¹⁴ pour des raisons de confidentialité. Cette première approche de l'activité donne les bases suffisantes à la compréhension des missions et à l'identification de situations d'actions caractéristiques. Elle permet d'envisager les contextes de missions, les supports de simulation, les objectifs assignés et les évènements inattendus qui seront simulés.

Une mission de chasse est planifiée de manière descendante selon « la règle des trois T : Task, Threat & Tactics ». Les objectifs à atteindre (Task), les moyens alloués, la menace adverse attendue (Threat) et le niveau de risque demandé sont des déterminants de la stratégie et des tactiques (Tactics) qui seront conçues avant le vol. La variabilité du contexte conduira ensuite le pilote à s'adapter pendant l'exécution de la mission. Sa créativité sera mise à contribution pour planifier rapidement de manière ascendante et opportuniste la meilleure tactique permettant de gérer au mieux la situation. Des nœuds décisionnels lui permettent, ou le contraignent selon le degré d'anticipation, à intégrer une nouvelle tâche à une tâche qui reste prioritaire et toujours en cours. La figure 12 est un canevas que l'exemple suivant illustre. Le pilote doit attaquer un objectif terrestre à une heure précise (tâche prioritaire) alors que sur sa route il rencontre des menaces aériennes

¹³ Les AASM, AGL, SCALP et AM39 sont des armes destinées aux cibles terrestres. Les MICA sont des missiles destinés aux cibles aériennes.

¹⁴ ASMP/A : arme à tête nucléaire

ennemies. Il utilise alors des critères appelés « commit criteria » élaborés selon la proximité, la vitesse, l'altitude et la force de la menace pour décider de l'engager au moyen d'une « conduite de tir ». Pour cela, il doit suspendre momentanément la tâche prioritaire. Cette phase est appelée « swing role ». Les routines, les schémas travaillés à l'entraînement sont alors sollicités. Parfois, en situation nouvelle, il doit faire preuve de créativité. Lorsque l'interception est réalisée et que l'issue tourne à son avantage, il reprend sa tâche prioritaire. Chaque bascule d'une tâche à une autre est conditionnée à la validation de ces critères faisant figure de nœuds décisionnels.

4.2 Méta-activité de conduite de tir

La demande d'intervention porte sur l'amélioration des conduites de tir. Il s'agit des tâches réalisées dans les zones hachurées de la figure 12. Mais comme le représente la figure 5, l'activité de conduite de tir intègre d'autres tâches d'intérêts connexes et qui prédominent à celles relatives à l'armement. Elles ne peuvent pas être ignorées et doivent être reproduites en simulation. C'est la raison pour laquelle la simulation fait appel à un équipier ainsi qu'à un véritable contrôleur pour simuler les communications avec l'avion de contrôle et de commandement AWACS.

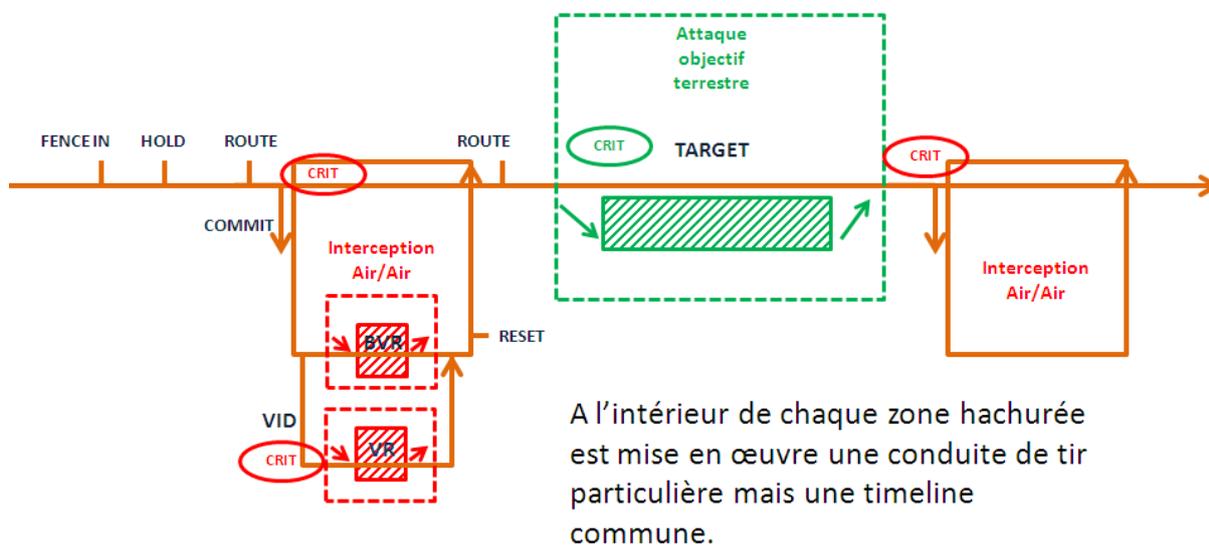


Figure 12. Méta-activité de conduite de tir du pilote de chasse : points de décisions, espaces de créativité pour l'élaboration de tactiques et changements d'états

4.3 Modèle de tâches de conduite de tir

On observe que lorsque la décision d'engager une cible est prise, les pilotes cherchent à obtenir des changements d'états qui réunifient et guident les divers modes opératoires ayant été observés (cf. figure 12). Il est finalement possible de construire une timeline c'est-à-dire une chronologie commune qui structure l'action de tous les pilotes. Ces changements d'états peuvent être représentés sous la forme d'un continuum qui fixe les différentes étapes incontournables dont la réalisation conditionne la suite des actions du pilote (cf. figure 13). Entre ces changements d'états, le pilote doit concevoir, souvent dans l'instant, une tactique parfois nouvelle devant s'adapter à l'évolution rapide du contexte.

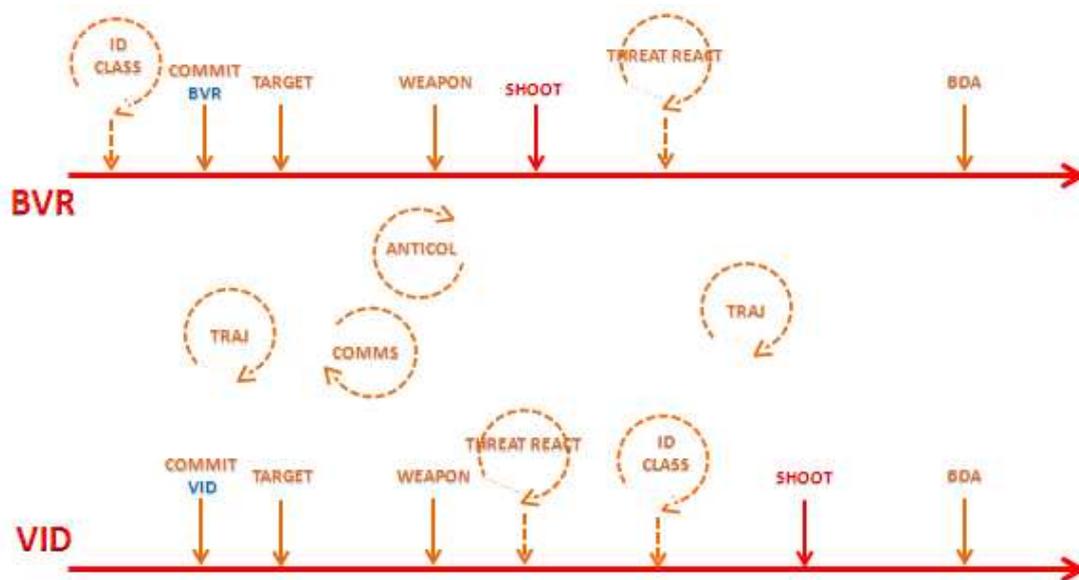


Figure 13. Timeline des changements d'état lors du processus d'engagement (zones hachurées de la figure 7). Bien que leur ordre ne soit pas identique, on constate la présence des mêmes changements d'état, que l'interception d'une cible soit réalisée au-delà de la portée visuelle (beyond visual range/BVR) ou qu'elle soit réalisée en portée visuelle (visual identification / VID).

BVR : beyond visual range

VID : visual identification

TARGET : attribution des groupes de cibles ennemies au sein de la patrouille

COMMIT : engagement du combat

ID/CLASS : identification et classification de la cible

WEAPON : choix et préparation de l'armement

SHOOT : déclenchement du tir

BDA (Battle Damage Assessment) : évaluation des dommages occasionnés

THREAT REACT : réaction face aux autres menaces ennemies

ANTICOL : anticollision avec le sol

5 Méthodologie

5.1 Choix des participants

Le choix méthodologique consistant à faire appel à un maximum de participants est guidé par la volonté de recueillir un maximum d'idées innovantes. Il se démarque ainsi des processus plus traditionnels de conception qui s'appuient sur l'avis d'un panel d'experts. Certes, ce choix nécessite de fusionner les données obtenues sous-tendant la question de la pertinence de la méthode adoptée pour cela, mais il présente l'avantage d'être plus fidèle à la réalité du terrain. En effet, la variabilité des profils de pilotes et la flexibilité d'un avion polyvalent tel que le Rafale génèrent des modes opératoires tellement variés (en dépit des efforts de standardisation consentis par l'institution) que la généralisation des résultats obtenus avec un petit groupe d'experts, issus du monde des essais ou des expérimentations, serait risquée. Les pilotes participants doivent appartenir aux unités opérationnelles participant aux théâtres d'opérations actuels. Des travaux de recherche sur la simulation ont démontré la nécessité de conduire les travaux de recherche sur le traitement du risque avec des sujets opératifs¹⁵ (Rogalski In Béguin et Weill Fassina, 1997). Nous avons fait le postulat que la structuration du raisonnement et la créativité des pilotes de chasse entraînés à improviser dans l'action et à se représenter des situations tactiques abstraites sera un atout. Ces mêmes pilotes, mis en situation de concepteurs de leur propre interface cabine, seront capables de la construire à partir d'une page vierge.

De plus, le recours à des pilotes opérationnels permet de combler certaines lacunes de la simulation. C'est ce qu'a montré Klein (1989) en étudiant la prise de décision dans le domaine de la gestion des grands feux de forêt aux Etats-Unis. Klein (1989) a montré que les processus d'identification du problème s'appuient sur une constellation d'indices non reproductibles en simulation. Les connaissances opérationnelles liées à l'action sont donc essentielles à certain mode de prise de décision. C'est la raison pour laquelle les pilotes retenus ont tous vécu des missions de guerre.

Les pilotes participants sont issus de l'Armée de l'air (n=6) et de la Marine (n=2) en raison des spécificités de chaque armée utilisatrice. Parmi les candidats proposés par chaque armée, le niveau minimal de qualification retenu est celui de sous-chef de patrouille (SCP). Cette qualification est la première qui permet d'être leader d'une patrouille de 2 avions.

¹⁵ Les professionnels étaient les sujets de l'étude de terrain ou d'une situation de simulation de type expérimental.

L'expertise de cette tranche de population est surtout technique. La qualification supérieure, celle de chef de patrouille (CP), est également retenue dans l'échantillon pour l'expertise tactique de ces pilotes. Les qualifications inférieures à celle de SCP ne sont pas retenues car elles correspondent à des phases d'apprentissage de l'avion et des missions.

Parce qu'il est délicat dès aujourd'hui de prédire quel sera le profil du pilote de Rafale de demain, la participation de pilotes natifs Rafale et de pilotes transformés Rafale est nécessaire. Les premiers n'ont connu que le Rafale comme avion de combat tandis que les seconds ont migré d'un avion de combat tel que le Mirage 2000 ou le Mirage F1 vers le Rafale. Les pilotes de Mirage 2000D et de Mirage F1 sont experts dans le domaine du tir air-sol (armement guidé laser) alors que ceux de Mirage 2000C, RDI et RDY le sont dans le domaine du tir air-air (combat aérien). Bien que ces profils de pilotes transformés soient voués à disparaître, la contribution de ces pilotes est importante car ils peuvent présenter des modes opératoires alternatifs à ceux adoptés par les pilotes natifs Rafale et générer des idées innovantes, inspirées par l'usage d'un système plus ancien.

Cette diversité est ainsi prise en compte par la sélection finale de 8 pilotes aux profils suivants :

- 1 CP ab initio Rafale,
- 3 CP transformés Rafale (2 air-air et 1 air-mer),
- 3 SCP ab initio Rafale
- 1 SCP transformé Rafale (air-sol)

5.2 Dispositif de production de données sur l'activité en système dynamique : construction du DiSTASyD:

Dans cette intervention, les situations sont rendues concrètes et tangibles grâce au recours à un support de simulation exposé aux yeux de tous les spécialistes métiers participants. Avec le dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD), il leur est possible de comprendre plus aisément la divergence des idées créatives émises par les pilotes opérationnels utilisateurs du Rafale. Lors des mises en situation, un premier outil sous forme de maquette Rafale (Module table tactique) est placé entre les mains du pilote qui se l'approprie. Par le processus d'instrumentalisation (Rabardel, 1995), l'outil qui est aussi son avatar, devient un instrument. Dans un second temps, un autre support (Module IHS) permet, par le processus d'instrumentation, de révéler et de recueillir les schèmes d'utilisation actuels et futurs du pilote dans son cockpit ayant un effet sur l'action de l'instrument au sein de l'environnement. Les participants retenus sont des pilotes opérationnels très expérimentés ce qui les rend capables de mesurer l'impact sur leurs schèmes d'usages engendrés par leurs propositions de modifications au moment où ils les formulent. Les deux modules « Table tactique » et « module IHS » sont complémentaires et indissociables.

5.2.1 Module TABLE TACTIQUE

Le premier support de simulation est une **table tactique** qui représente l'environnement de la mission sur une surface plane à savoir : frontières, zones de combat, corridors aériens, postes de commandement, camps ennemis, routes, avions ennemis et même bancs de brouillard. Un simple fond quadrillé permet de fixer les distances entre les divers objets du support. Plus la table tactique sera riche en informations, plus le pilote risque de ne pas transposer ces informations dans un second temps sur le second support représentant la cabine. C'est la raison pour laquelle le support reste assez dépouillé.

Une **maquette Rafale** servant d'avatar spécifiquement conçue par une unité de conception du CEAM¹⁶ est manipulée par le pilote qui la déplace dans le champ de bataille (table tactique). Cette maquette est un élément clé du support. Tout d'abord elle est équipée des armes et des capteurs définis par les scénarios de prescriptions. A bord du véritable Rafale, le pilote évolue dans la troisième dimension. Les variations d'altitude ont une influence

¹⁶ Centre d'expertise aérienne militaire. Cet organisme de l'Armée de l'air a pour vocation de développer l'expertise du combattant, mettre au point les matériels avant leur mise en service opérationnel et élaborer les doctrines afférentes.

directe sur l'emploi des armes. Plus l'avion monte, plus les armes portent loin en raison de la faible densité de l'air et des faibles frottements sur le missile induits. A l'inverse, plus il descend, plus son domaine de tir se réduit. Ces lois physiques essentielles dans l'activité du pilote de chasse ont conduit à placer la maquette du Rafale sur une potence lui permettant d'évoluer en altitude et à y incorporer des lumières et un laser dont la projection sur la table permet au pilote de visualiser le domaine de tir de ses diverses munitions et la ligne de visée de son désignateur laser (cf. figure 14). De plus, la plupart des pilotes de Rafale actuels n'ont jamais eu à gérer simultanément deux types de missile d'interception ayant des portées et des logiques de fonctionnement différentes. Ici, les lumières des maquettes permettent aux pilotes de visualiser les différentes portées et les zones communes couvertes par les domaines de tir. Selon le contexte, des décisions délicates sont à réaliser par le pilote quant au type de missile à employer ou à la réaffectation en vol sur une autre cible du missile déjà tiré.

En mission opérationnelle, un avion de chasse n'évolue jamais seul. Il est assisté d'un équipier. Le pilote en simulation est donc également accompagné d'un équipier doté d'une seconde maquette Rafale du même type afin de simuler le travail collaboratif d'une patrouille.

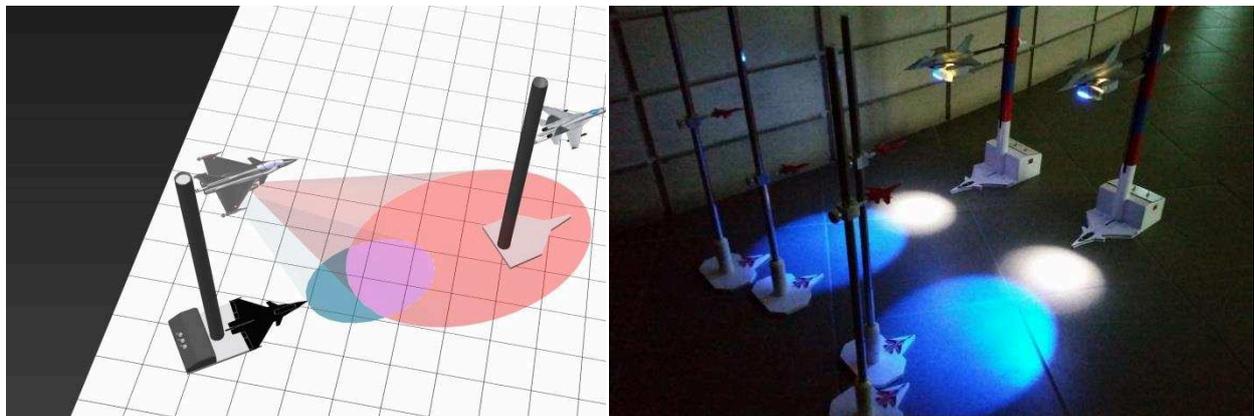


Figure 14. Maquettes de DiSTASyD : de la conception informatique à la concrétisation matérielle

5.2.2 Module IHS tangible

Le support tactique composé de la table et des maquettes a pour fonction d'amener le pilote à projeter son activité dans l'environnement terrain. Les maquettes permettent au pilote d'agir sur les cibles pour identifier les informations du cockpit nécessaires à cette action. Ce sont ces informations que le module IHS a pour fonction de collecter.

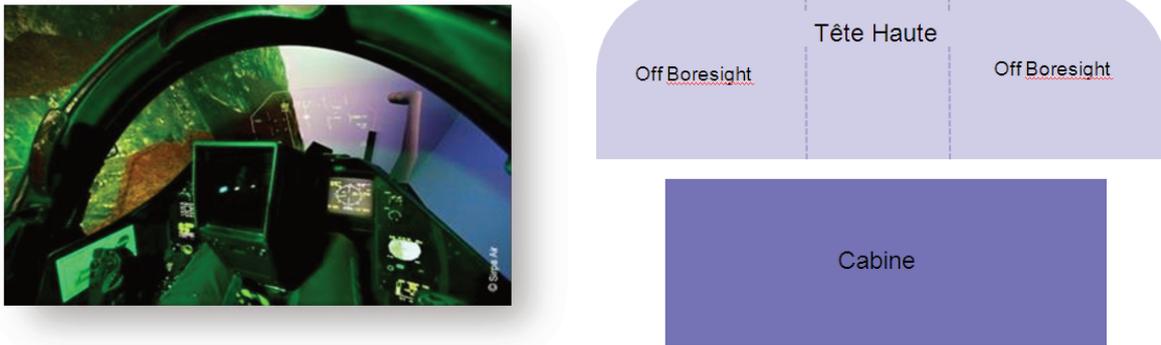


Figure 15. Du cockpit actuel à un cockpit dont l'IHS tangible est initialement vierge

Mais l'objectif final de l'intervention consiste à accéder à la nature des informations nécessaires au pilote pour agir en cabine sur son interface. Un second support tangible sous forme d'une **IHS tangible** est nécessaire pour cristalliser les idées créatives des pilotes. Concrètement, il s'agit d'un tableau blanc initialement vierge sur lequel sont délimitées des zones spécifiques (cf. figure 15). Ces zones représentent les différentes composantes spatiales d'un cockpit Rafale :

- la zone **tête haute** qui correspond au champ visuel central et extérieur du pilote. De manière quasi-systématique dans les avions de chasse modernes, un afficheur tête haute (**Head-Up Display, HUD**) est utilisé ;
- la **zone cabine**, en-dessous de la précédente, qui correspond au champ visuel bas du pilote. Dans un cockpit cette zone regroupe la quasi-totalité des écrans, commandes et instruments de vol avec lesquels interagit le pilote ;
- la zone du champ visuel extérieur périphérique (**off boresight**). Actuellement cette zone n'est pas exploitée dans le Rafale mais de nombreuses avancées technologiques (telles que les systèmes de visuel de casque et les écrans transparents sur une verrière) laissent à penser que les évolutions de l'IHS Rafale intégreront la présentation d'informations dans ce champ perceptif.

Le module IHS est volontairement épuré et vierge (cf. figure 15). Ce choix fait prendre le risque de mettre en difficulté le sujet par manque d'inspiration ou d'amorçage, mais les travaux de Rogalski (1997) et Dubey (1997) permettent d'être optimiste. En effet, le pilote connaît le Rafale et a parfois évolué sur un avion différent pouvant également lui servir de référence pour réutilisation une fonction par analogie. Il est donc placé dans une situation qui lui offre une grande liberté d'expression. Il est libre de (re)construire l'IHS qui lui est nécessaire pour faire évoluer son avion sur le support tactique.

L'immersion dans la mission est impérative afin que le déplacement des maquettes soit guidé par une activité déjà vécue ou projetée. Misant sur la capacité des pilotes à se remémorer les situations vécues et les informations qu'ils utilisent quotidiennement, le support IHS initialement vierge permet si le besoin l'exige de répliquer l'IHS actuelle du Rafale ou de la faire évoluer soit en reconfigurant les différents zones soit en exploitant la nouvelle zone (off boresight). Pour cela, conscient de l'action précise qu'il veut mener, le pilote dispose des étiquettes aimantées et mobiles où bon lui semble, sur lesquelles il inscrit l'information sous la forme qu'il souhaite. Cette dernière peut être numérique, alphabétique, géométrique ou symbolique. Dans le cas où le pilote ne parvient pas à traduire précisément les informations dont il a besoin, il réalise un croquis, rédige une description des fonctions ou des conditions nécessaires à la réalisation de son action (cf. figure 16).

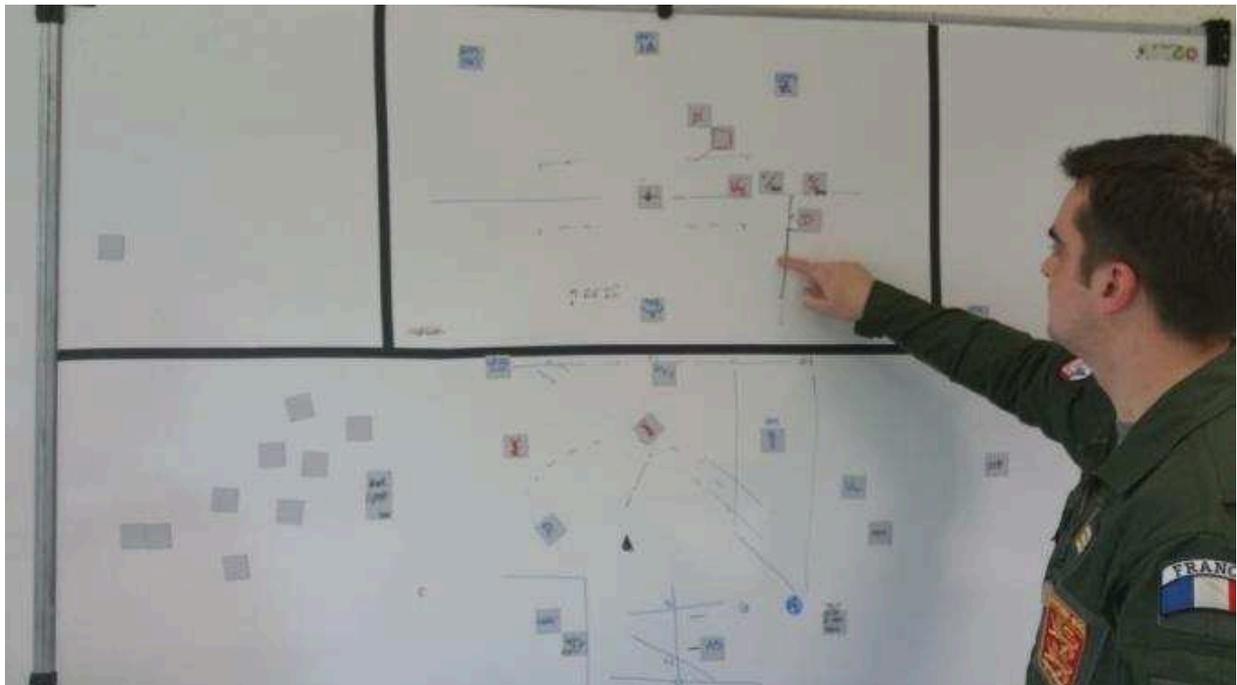


Figure 16. Construction de solutions sur le module IHS

5.2.3 Modules SCENARIOS

En conformité avec les scénarios de prescription (armement, capteurs, type de mission, etc.), plusieurs situations sont créées afin de conduire le pilote à simuler l'emploi de la quasi-totalité des armes du Rafale. Les divers contextes créés sont présentés au pilote au moment de la séance de simulation sous la forme d'une assignation de mission (air task order) similaire à celle qui lui aurait été diffusée dans la réalité¹⁷. Les situations proposées se rapportent à des situations connues ou bien spéculatives destinées à tester les idées du pilote concernant l'usage de l'armement nouveau. A partir de ce moment, le pilote prépare sa mission et présente ensuite à l'animateur, équipier également doté d'un avatar, la tactique (game plan) qu'il a élaborée pendant 10 minutes en prenant en compte l'ensemble des tâches connexes évoquées précédemment (cf. figure 5).

Les situations d'actions caractéristiques identifiées lors de l'analyse de l'activité initiale réalisée en escadron sont simulées afin de juger de leur bonne réalisation en réponse aux événements qui sont injectés par l'animateur au cours de la simulation. Ces événements consistent essentiellement en des manœuvres de cibles adverses. Les comportements de ces cibles doivent être reproduits à l'identique par l'animateur afin que chaque session individuelle puisse révéler les logiques différentes et spécifiques à chacun des pilotes. Des véhicules terrestres de type pick-up et des maquettes d'avions Sukhoï pouvant également évoluer en 3D ont été réalisés à cet effet selon le même principe que celui des Rafale.

Sept scénarios de missions sont conçus dans lesquels la complexité des cas d'usages est progressive. En effet, la construction du cockpit partant d'une interface vierge, il est nécessaire de débiter la simulation en définissant le socle des informations utiles tout d'abord au pilotage de l'avion (trajectoire à court terme, à long terme, anticollision, anti-abordage) puis à la détection et à la surveillance du comportement de ses partenaires et de ses adversaires pour enfin se focaliser sur la gestion de l'armement. A titre d'illustration, la figure 17 présente le premier scénario qui prévoit d'abord de placer la patrouille en attente sur la zone (phase A). A ce moment, seules les informations de pilotage, de configuration cabine, de gestion de l'équipier sont évoquées (cf. figure 5). Ensuite, des dégradations techniques et une désorganisation du travail collectif provoquées (phase B) permettent d'aborder certaines limites de l'artefact actuel et les différents modes opératoires

¹⁷ Engagement de cible aérienne et bombardement préparé ou d'opportunité au-delà et en deçà de la portée visuelle. Un cas d'engagement « swing role » exige au pilote de réaliser les 2 types d'engagements simultanément.

permettant d'y faire face. Enfin, il est possible d'aborder l'utilisation des armes notamment par la découverte de la portée augmentée du nouveau missile Meteor (phase C).

Au cours de la simulation, le pilote peut saisir des opportunités pour émettre des propositions de correction du système actuel. Les simulations suivantes se focalisent sur l'utilisation combinée du missile moyenne portée actuel MICA et du futur missile longue portée Meteor. Il peut ainsi formuler des propositions de conception pour les actions connues nécessitant selon lui une optimisation de la conduite de tir MICA et des propositions sur l'emploi et les moyens d'agir en opérant avec le futur armement Meteor. Cette structuration incrémentale des missions permet d'adopter une analyse rétrospective et progressivement prospective des usages (Nelson, 2011 ; Loup-Escande et coll., 2012).

CAS D'USAGES 1 : IDENTIFICATION VISUELLE (Visual Identification / VID)

Animation du scénario et évènements :

1. INITIAL PICTURE : un avion non identifié (BOGEY) transite dans le corridor traversant la zone à défendre
2. MAINTIEN DU CORRIDOR : Vitesse et altitude du bogey stables
3. Situation d'action caractéristique n°1 : à 25 Nm / BOGEY, annonce par l'équipier de perte de visuel
4. Situation d'action caractéristique n°2 : perte de la liaison de données tactiques
5. Situation d'action caractéristique n°3 : à 12 Nm / BOGEY, manœuvre du bogey fait face hors du corridor

Objectifs :

1. Définir les éléments utiles au pilotage de l'avion
2. Définir les éléments utiles à la configuration cabine et au support mutuel équipier
3. Définir les éléments utiles au combat visuel rapproché (Within Visual Range)

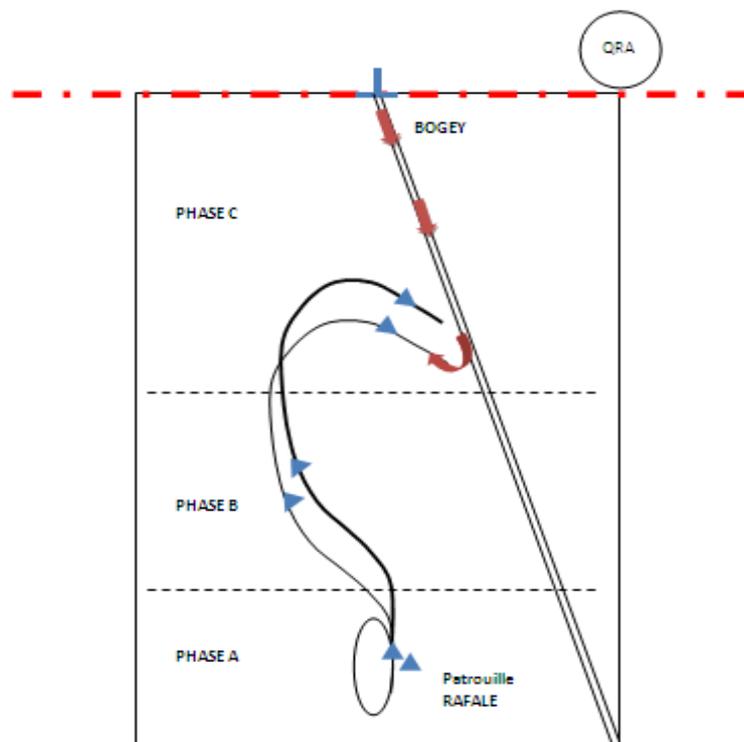


Figure 17. Exemple de fiche servant à animer la simulation du cas d'usages 1

5.2.4 Les protagonistes de l'équipe de co-conception

5.2.4.1 Le rôle de l'ergonome

Dans la majorité des situations professionnelles simulées, l'animateur est un professionnel ayant des connaissances du métier dont l'activité est simulée. Dans cette étude, l'animateur est à la fois pilote de Rafale et ergonome en formation. Cette double compétence lui permet d'adopter une position schizophrénique (1) d'équipier pilotant lui aussi son avatar Rafale, d'expert métier capable de questionner sur les choix tactiques effectués ou sur les propositions d'évolutions faites par le sujet et (2) d'animateur de la simulation dans le respect des cas d'usages conçus. Son rôle est celui de médiateur entre les activités argumentatives et créatives du sujet et la situation de simulation qui se déroule. Sa compétence de pilote doit lui permettre de rationaliser les débats sans brider la créativité des pilotes (cf. Figure 10). Enfin, il doit formuler régulièrement des synthèses des discussions pour une meilleure synchronisation cognitive (Darses & Falzon, 1996) de l'équipe de co-conception.

5.2.4.2 Le rôle des autres protagonistes co-concepteurs

Le contrôleur. – Afin de donner du réalisme au scénario et favoriser l'immersion dans l'intrigue, un contrôleur aérien diffuse régulièrement les évolutions de la situation observées sur la table tactique tel qu'il le ferait depuis son poste de contrôle. De plus, son intervention permet la synchronisation opératoire (Darses & Falzon, 1996) de l'ensemble des acteurs lors des phases de transition entre la table tactique et l'IHS virtuelle (cf. figure 18).

Les prescripteurs et spécialistes des conduites de tir. – L'ensemble des autres acteurs présents (officiers programme d'Etat-major, managers DGA et spécialistes Dassault) sont témoins de cette réflexivité du pilote. Sollicités par l'animateur lorsque jugé nécessaire, selon leur domaine de compétences, ils apportent leur contribution et donnent de la pertinence aux idées co-construites (Falzon, 2013). Ils orientent les débats autour de la faisabilité technique ou de la doctrine militaire. Ce travail collectif est facilité par les caractéristiques de DiSTASyD qui offre à tous une position allocentrée unique. Ils accèdent au point de vue du pilote, comprennent et identifient les déterminants de son activité pour mieux comprendre le besoin qui en découle.

5.2.5 Mode d'emploi et mise en œuvre de DiSTASyD

Chaque séance d'une journée par participant débute par une présentation des objectifs de l'intervention et du dispositif expérimental. Après avoir exposé le cadre des missions à réaliser, l'animateur demande au participant d'élaborer un briefing pendant 10 à 15 minutes et, en tant qu'équipier, de lui exposer ensuite pendant 15 minutes. Ce briefing tactique est le moyen de découvrir les logiques d'action subjectives prévues par ce pilote pour réaliser la mission qui sera simulée. La phase de préparation à l'action (briefing) conditionne donc le succès de la simulation et nécessite quelques précautions.

Pour simuler son activité, le pilote déplace son avatar sur la table tactique, pas-à-pas, minute par minute, sans anticiper les actions ou les événements à venir. Ce comportement est délicat pour un pilote dont l'entraînement quotidien vise à améliorer ses capacités d'anticipation. L'animateur doit informer le pilote qu'à chaque déplacement des maquettes correspondant à une minute d'activité réelle, ou à tout moment jugé important, la simulation sera interrompue et le pilote sera alors placé en condition réflexive sur ses propres actions. Cette démarche s'avère nécessaire si l'on veut identifier et proposer à terme la bonne information au bon moment dans un cockpit doté d'une interface dite « adaptative », si une telle solution est jugée pertinente par l'avionneur.

Au cours de la passation, deux processus sont mis en jeu et peuvent se révéler être concurrents. D'une part, une activité de production au cours de laquelle le sujet cherche à réaliser le plus fidèlement et efficacement sa tâche. D'autre part, une activité de conception créative en cherchant à développer son artefact et les schèmes d'usages afférents. Pour cela, il identifie les problèmes posés par la situation vécue pour les résoudre mais ne les évite pas comme il le ferait en réalité. Ce type d'environnement simulé non connecté est propice à exposer les difficultés éprouvées par le pilote qu'il cherche à révéler et à résoudre. Son ego est mis de côté sous réserve de lui offrir suffisamment d'intimité, de confiance et de lui garantir l'anonymat des résultats (cf. figure 18). Ce n'est pas forcément le cas lorsqu'on observe les missions réelles de plus en plus exposées et transparentes en raison des informations accessibles en réseaux.

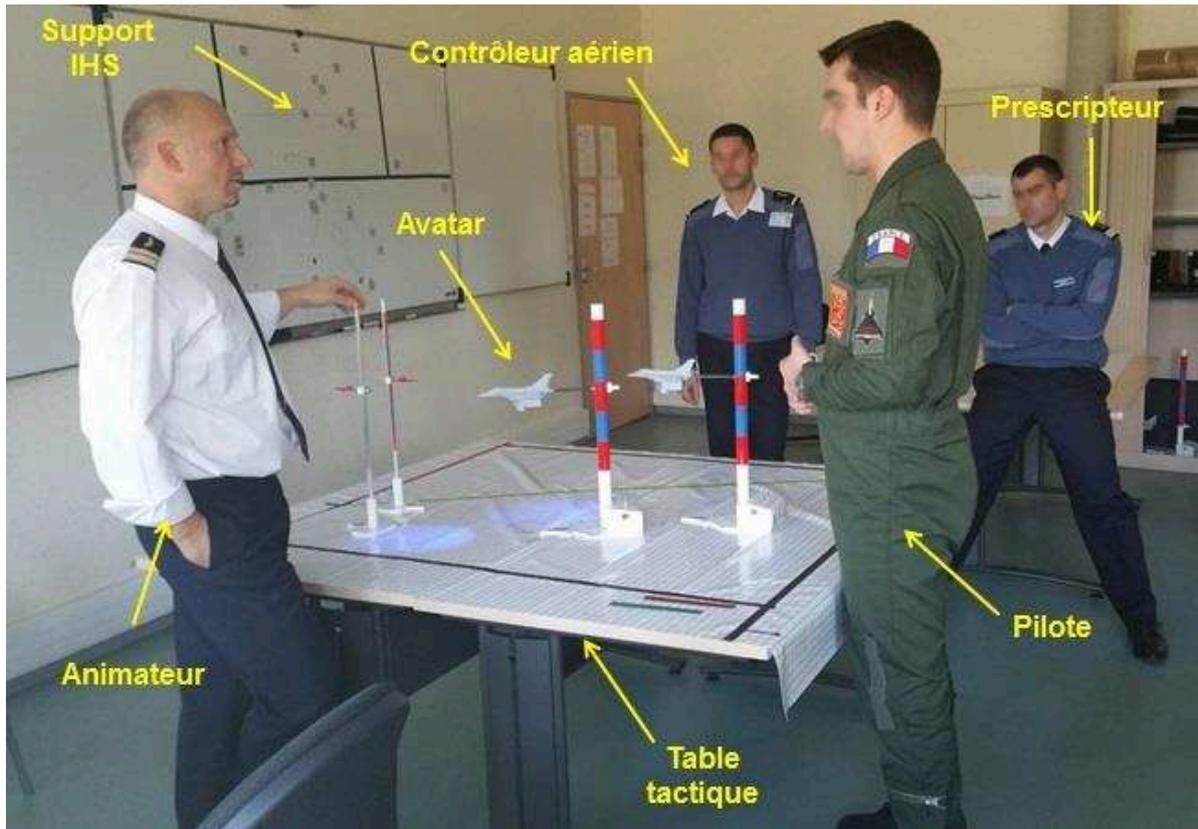


Figure 18. Confidentialité des situations réflexives collectives

Le scénario joué en simulation conduit le pilote à réaliser son activité dans des situations connues pour lesquelles il a développé des routines ou dans des situation de résolution de problème pour lesquelles il peut être amené à formuler un besoin d'évolution de l'interface cabine. L'expression de ce besoin nouveau émerge de manière opportuniste ou bien est provoqué par un questionnement régulier articulé autour du triptyque constituant les unités de l'activité humaine selon Leontiev (1984) : motif (*je veux arriver à ...*), action (*je fais ça ...*), moyens (*j'ai besoin de ...*) (cf. figure 19). Le pilote est ainsi orienté vers l'utilité produit et/ou valeur : de quoi ai-je besoin en cabine à ce moment de l'action pour ne pas me retrouver bloqué et hypothéquer mon intention ? L'évolution du guidage au cours de la simulation est un marqueur de la compréhension de la méthode par le pilote (Antolin 1997 et Rogalski & Antolin 1997). Initialement assez directif, l'animateur recherche l'autonomie du sujet dans la gestion de la situation de simulation : le pilote manipule son avatar, puis celui de son équipier et finit par se poser lui-même de façon automatique les trois questions « intention, action, information nécessaire ».

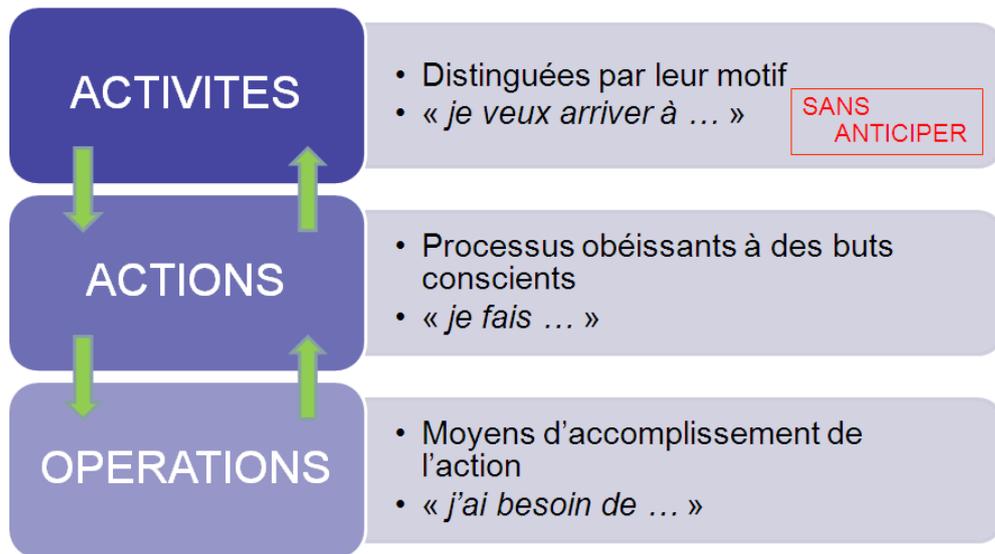


Figure 19. Les « unités » de l'activité humaine, adapté de Leontiev, 1984

Une position réflexive est systématiquement adoptée par le pilote à chaque fois qu'il doit prendre une décision ou qu'il doit déplacer son avatar sur la table tactique (minute par minute). Lorsqu'il élabore une solution pour résoudre un problème, le pilote explore deux univers (Nelson, 2011) :

- Le premier est considéré **rétrospectif** car il consiste à reconstruire des fonctions et/ou des usages sur la base de l'état actuel de la cabine Rafale au standard F3, des versions précédentes du Rafale voire des cabines d'autres avions qu'il connaît ;
- Le second est considéré **prospectif** car il correspond à l'univers des fonctions et des usages possibles relevant de son inventivité. Les informations qui en découlent peuvent être floues, partielles, marginales ou bien inversement s'avérer très précises, complètes et partagées.

La discussion permanente entre ces deux univers et leur exploration approfondie, au besoin par le guidage de l'animateur, produit deux sortes de données (Loup-Escande et coll., 2012) :

- des informations dont **l'utilité est réelle** puisqu'elles s'appuient sur l'expérience vécue du pilote concepteur de l'idée (univers d'idées rétrospectives),
- des informations dont **l'utilité est potentielle** (univers d'idées prospectives). Ces dernières sont élaborées à partir de l'expérience individuelle et de la capacité créative de chacun des pilotes passant la simulation.

L'utilité réelle des informations à utilité potentielle ne peut pas être consolidée car elles portent sur un usage futur probable issu de l'exploration de l'univers prospectif. Seul un simulateur de conception dynamique haute-fidélité ou a minima « micro monde » pourrait y répondre sous réserve de l'avoir prototypé. A ce stade du projet qui se situe en amont de l'élaboration d'un prototype et qui consiste à adresser le besoin des armées vers le concepteur Dassault, les données recueillies et l'analyse des argumentations développées doivent s'avérer suffisantes pour formaliser les spécifications fonctionnelles (cf. figure 20). Le postulat de l'utilité intrinsèque aux propositions faites repose sur le choix de participants : les pilotes sont les utilisateurs finaux qui recherchent la performance et leur sécurité. Ils connaissent les contraintes auxquelles ils sont soumis en opérations. Leurs propositions se doivent d'être pragmatiques.

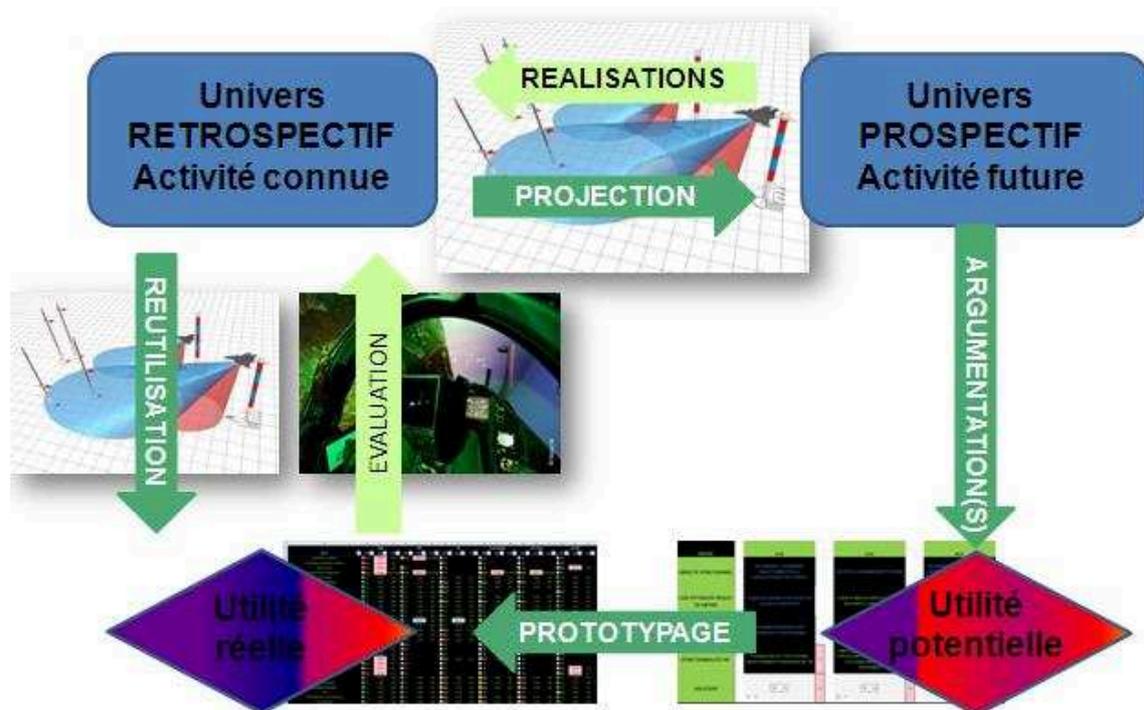


Figure 20. Usages prospectifs et rétrospectifs atteints avec DiSTASyD adapté de Loup-Escande, Burkhardt et Richir, 2012.

Mise en relation entre utilité, univers des idées, outils de simulation et dispositifs de recueil des données.

5.3 Dispositif de traitement des données

Huit séances d'une journée de ce type ont été réalisées. Les enregistrements vidéo de ces huit sessions de simulation constituent la seule source de données exploitées. Ils couvrent environ 50 heures de simulation (6 heures/pilote en moyenne). L'analyse de ces vidéos est systématiquement réalisée en binôme.

Il ressort de ces séances de simulation deux types de données qui sont consignées dans deux registres différents¹⁸ :

- une base de données Excel regroupant **les informations actuelles à conserver** ;
- un fichier recensant une liste de propositions d'évolutions : **la liste des idées innovantes**.

Dans les deux cas de figures, le processus mouvant mis en jeu fait appel à la créativité des pilotes opérationnels animés par l'objectif d'amélioration de la performance et de la sécurité du système Rafale, donc à la recherche d'innovations utiles.

5.3.1 Les informations actuelles à conserver

L'ensemble des informations jugées nécessaires à afficher en cabine par les pilotes pour réaliser leur activité actuelle est renseigné sur une feuille de calcul Excel baptisée « **matrice des informations actuelles à conserver** » (cf. figure 21). Elle comporte pour chaque pilote, en lignes les informations identifiées et en colonnes plusieurs critères qui précisent où, quand, comment, sous quelle forme, dans quel but et avec quelle importance l'information citée est nécessaire. Cette matrice n'est pas fournie pour des raisons de confidentialité.

5.3.1.1 Codage des informations actuelles à conserver

Pour atteindre son but, le pilote peut exploiter une ou plusieurs informations, de même qu'une information est utilisée à plusieurs fins, par exemple l'indication de vitesse peut être utilisée pour le pilotage de l'avion mais également pour assurer un domaine de tir à

¹⁸ Dans ce travail de recherche, seuls les résultats issus de la « liste des idées innovantes » feront l'objet d'une analyse particulière qui s'appuie sur les argumentations déployées.

l'arme. Chaque information est donc codée par rapport au but poursuivi et selon une série de 10 critères suivants :

Nature de l'information. – Elle renseigne sur l'ampleur technique des modifications éventuelles à apporter à l'IHS. Elle précise si l'information est une **réplication** et ne nécessite pas de développement supplémentaire. Dans ce cas le moyen est connu pour satisfaire une exigence connue par une information connue. Il s'agit par exemple d'afficher la vitesse de l'avion de la même façon que dans l'IHS actuelle du Rafale. Dans l'autre cas l'information est une **modification** qui porte sur un ou plusieurs critères (forme, localisation, accessibilité, etc.) et qui nécessitera un travail de reconstruction d'affichage d'un besoin déjà connu. Le moyen est nouveau pour satisfaire une exigence connue par une information connue. Il s'agit par exemple d'afficher la direction et la force du vent dans un autre écran ou encore de synthétiser sur une seule page le carburant et l'armement restants de tous les membres de la patrouille.

Attention, il existe cependant un troisième type de nature d'information qui concerne les **évolutions** à apporter pour réaliser l'activité actuelle. Il s'agit d'informations nouvelles correspondant à un besoin nouveau ou encore à un besoin existant mais que l'interface actuelle ne permet pas de satisfaire. Cette dernière situation renvoie à la notion d'activité empêchée (Clot, 1999). Il s'agit par exemple d'afficher les munitions restantes de l'équipier en HUD ou de présenter la position de l'équipier dans le champ off boresight. Ce type d'information issue d'une analyse rétrospective des usages (Nelson, 2011) est consigné dans un second fichier baptisé **liste des idées innovantes** dont l'exploitation fait l'objet de ce travail de recherche.

Source de l'information – Elle permet de savoir dans quelle phase a été exprimé le besoin pour la première fois, si le besoin de cette information change de but d'une phase à une autre, ou si cette information n'a pas explicitement été exprimée par le pilote mais les codeurs estiment que le besoin est toujours présent¹⁹.

Forme de l'information – Elle renseigne sur le média souhaité, c'est-à-dire le support physique de l'interaction. Il peut s'agir d'un son ou d'une image numérique, alphanumérique, géométrique ou symbolique qui feront appel aux diverses modalités du

¹⁹ Cette intervention extérieure des codeurs peut être considérée comme un biais mais elle est inévitable. En effet, elle évite de casser la dynamique de la simulation car il n'est pas envisageable au cours de la séance de reprendre à chaque fois de manière exhaustive la liste de toutes les informations déjà exprimées pour confirmer avec le pilote l'utilité de les transposer d'une phase à une autre.

pilote : audition, parole et vue. Plusieurs combinaisons multimodales sont possibles mais leur pertinence nécessite une évaluation spécifique raison du risque de conflit potentiel.

Localisation de l'information – Elle permet de construire l'environnement cabine. Les informations sollicitées sont positionnées en tête haute (head up display), en tête basse (head down display) ou encore hors de la ligne de visée située sur l'axe avion (off boresight). Plusieurs combinaisons sont possibles mais le repère pour la conception retenu qui vise à la simplification du cockpit pousse l'animateur à ne pas multiplier les choix possible.

Accessibilité de l'information – Elle est un critère qui impacte fortement la densité informationnelle mais aussi le traitement cognitif de l'information. Une information très peu utilisée et ayant peu d'effet sur la performance ou la sécurité peut être appelée par le pilote (pull) notamment sur consultation de l'alidade. A l'inverse, il y a des informations qui nécessitent d'être présentées en permanence ou bien au moment opportun (push) sous forme d'incitation par exemple. Enfin des informations peuvent être présentées par défaut et leur affichage allégé si le contexte le permet.

Tâche d'intérêt – Elle correspond à l'intention qui domine au cours de l'action ou des actions en cours et de la prise d'information rattachée. On en dénombre 7 essentielles : l'analyse du comportement des autres acteurs de la mission (amis ou ennemis), le pilotage de la trajectoire ayant des effets immédiats, la gestion de la trajectoire ayant des résultats ultérieurs, le gestion des munitions, la détection, l'identification et la classification des cibles.

Automatisation – On précisera si la gestion de l'information permet une automatisation effective ou potentielle.

Armement – Celui qui est concerné par l'information.

Criticité de l'information – Liée au domaine tactique ou technique pour lequel elle est jugée cruciale. Au sein de chacun des 2 domaines, plusieurs registres sont associés. Ils correspondent aux facteurs de risque externe exposés dans la figure 7. Dans le domaine technique, l'information peut être critique pour le comportement de l'avion (ex : vitesse, incidence...) ou bien pour le fonctionnement de la munition même (ex : ignition, jink...). Dans le domaine tactique, l'information critique peut concerner l'environnement tactique du pilote : le timing pour être à l'heure au bon endroit, l'équipier, la cible, le relief, la clear avenue of fire pour éviter les tirs fratricides, les dommages collatéraux au sol, la menace sol-air.

Distance – pour chaque phase entre le pilote et la cible prioritaire.

5.3.1.2 Organisation des données selon les tranches d'activité²⁰

Bien que la matrice des informations actuelles nécessaires puisse donner l'impression de n'apporter qu'une faible plus-value à l'innovation du cockpit en raison de la nature des informations qu'elle contient (connues répliquées ou modifiées), il n'en demeure pas moins que la lecture de l'activité globale qu'elle offre est extrêmement utile. En effet, elle permet de comprendre l'articulation dynamique des informations exploitées au cours de l'activité du pilote ce qui permet d'envisager une conception innovante pour un cockpit adaptatif. Ainsi, ce fichier construit grâce à une explicitation de l'activité pas à pas, minute par minute, sans anticipation est le seul moyen qui permet de donner au pilote la bonne information au bon moment. La construction de la matrice est organisée par phases respectant les repères de la **timeline** (cf. figure 8). Chaque mission est donc découpée selon les tranches d'activité suivantes (cf. figure 21):

- **HOLD / CAP** : Phase d'attente avant de franchir les lignes ou d'engager l'ennemi
- **PUSH / COMMIT** : Pénétration zone ennemie ou engagement de cibles aériennes
- **TARGETING** : Acquisition de la cible
- **WEAPONRY** : Choix et préparation de la munition
- **SHOOT & BDA** : Tir et évaluation du résultat du tir

²⁰ L'exploitation de ces données attendue pour l'intervention ne sera pas présentée dans ce travail de recherche qui se focalisera sur le second fichier consacré aux idées innovantes.

5.3.1.3 Exemple de codage des « informations actuelles à conserver »

INFO	CAP			COMMIT			TARGETING			WEAPONRY			SHOOT		
	NEC	NA	LOC	NEC	NA	LOC	NEC	NA	LOC	NEC	NA	LOC	NEC	NA	LOC
AZD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD
ALTITUDE	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU
ALTITUDE WINGY	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU
BUBBLE HQ	1	CUR	HD	1	CUR	HD	0			0			0		
BULLS	1	CUR	HD	1	CUR	HD	0			0			0		
CAP	1	CUR	HU	1	CUR	HU	0			0			0		
CERISE	1	CUR	HU	0			0			0			0		
CHEVRONS NRJ	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU
DISTANCE WINGY	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU
FLOT	1	CUR	HD	1	CUR	HD	0			0			0		
HOLD / CAP POINT	1	CUR	HD	0			0			0			0		
HOLD / CAP POINT IDN	1	CUR	HD	0			0			0			0		
HORIZON	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU
HOTLEG CAP	1	CUR	HD	0			0			0			0		
INCLINAISON AU BUIP	1	CUR	HD	0			0			0			0		
LOAD MUN	1	MOD	HU	1	MOD	HU	1	MOD	HU	1	MOD	HU	1	MOD	HU
MACH WINGY	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU	1	CUR	HU
MODE RADAR	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD
NOMBRE BARRES	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD
OSF	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD
OUVERTURE EN AZIMUTH	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD
POINT SUR HQ	1	CUR	HD	1	CUR	HD	0			0			0		
POSITION WINGY	1	NEW	OFB	0			0			0			0		
PPLI WINGY	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD	1	CUR	HD

Figure 21. Extrait de la matrice des informations actuelles à conserver. La mission est découpée en phase conformément à la timeline. La nécessité de chaque information dans chacune des phases est codée par 1 ou 0. On affiche ici seulement deux des dix critères retenus : nature et localisation.

5.3.2 Les idées innovantes

Les propositions d'évolutions retenues dans le fichier des idées innovantes sont de nature différente de celles de la matrice des informations actuelles nécessaires. Elles sont innovantes au sens où elles correspondent d'une part à un besoin nouveau exprimé pour un système déjà opérationnel c'est-à-dire pour lequel le couplage mission/avion est déjà établi (univers rétrospectif) et d'autre part elles introduisent un besoin nouveau pour un système futur dans lequel le couplage mission/avion sera nouveau (univers prospectif).

Notre objectif de recherche est de démontrer la pertinence de la méthodologie que nous avons développée et déployée pour l'intervention. C'est pourquoi la sélection des outils d'analyse des données a été guidée par la volonté de réaliser tout d'abord une analyse qualitative des idées innovantes produites par les pilotes afin de catégoriser les données en niveaux d'abstraction. Nous avons réalisé dans un second temps conjointement des analyses quantitatives afin de démontrer la validation de DiSTASyD et une seconde analyse qualitative faisant appel à la hiérarchie d'abstraction (Rasmussen, 1986) afin de démontrer la qualité du livrable produit par DiSTASyD, confirmant ainsi, une seconde fois sa pertinence.

Codage des idées innovantes

Les scénarios prospectifs qui demandent au pilote de créer ses futurs usages dans une situation nouvelle donnent lieu à des propositions innovantes. Ces dernières sont repérées par leur distinction avec celles qui concernent l'activité actuelle consignées dans la matrice des informations actuelles à conserver (§ 6.4.1). Il peut aussi exister des propositions d'évolutions de l'IHS actuelle qui sont formulées par opportunité au cours des scénarios mettant en jeu des armements actuels pour lesquels les usages sont déjà établis. Ce type d'information est issu d'une analyse rétrospective des usages (Nelson, 2011).

Un fichier baptisé « **liste des idées innovantes** » (cf. figure 22) consigne les informations nouvelles correspondant à un besoin nouveau ou encore à un besoin existant mais que l'interface actuelle ne permet pas de satisfaire. Cette dernière situation renvoie à la notion d'activité empêchée (Clot, 1999). Il s'agit par exemple d'afficher les munitions restantes de l'équipier en HUD ou de présenter la position de l'équipier dans le champ off boresight.

INTITULE	COMMENTAIRE	HMI	CSO	SIH
WPN LOAD	MODIFIER CERCLAGE DES BOMBES EN CAS D'IG INSUFFISANT DISTINGUER GBU D'AASM + BDD (CODE COULEUR, TAILLE B) + MODE A DTE DANS HUD EN HUD ELOIGNER AFFICHAGE METEOR DE MICA + SUPERPOSITION DU LOAD LDR/WGN AVEC MECA DE BASCULE PRESENTATION DU WEAPONLOAD EN HUD CONNAITRE LE TYPE DE BOMBE EQUIPE (EX: REMPLACER B PAR A OU G POUR LES BOMBES AASM ET GBU12) ETRE SUR DE LA MUNITION TIREE	REMI_SCM_AA_1B	CISCO_SCN_AS_AICAS_ 00:50 CLAUDIUS_SCN_AS_AIC	
WPN MNGT	RENDRE PLUS VISIBLE LE CHARGEMENT DE LA MISSION IGM ET IGM CLIGNOTANT NE TIRER AASM QU'EN AUTO (PERTINENCE ONE & ALL) ET SURTOUT PAS EN CDE TPS REEL SELECTION MISSION EN HOTAS PLUTÔT QUE NAV DANS MENU (ROTDOT) SABLIER POTENTIEL ELEC SCALP + FUEL MAIS PAS EN PAGE A/S PLUTÔT EN VAP... DU PAS !!! TIMING RESTANT EN AUTODESTRUCTION DU METEOR SIMPLIFICATION DES MODES DE TIR MICA IR AUTOMATISATION MODE 4 MICA IR ACCORDER LES INFORMATIONS DONNEES DANS LA PMISS A CELLES DONNIES DANS LA DATACARD (EX: AVOIR FAST VERT DANS LA PMISS AU LIEU DE VERT FAST) AIDE SELECTION MUN - PASSAGE DOG FIGHT AFFICHAGE HUD ETAT MSL SCALP ET ALN CHRONO AUTO MISE SOUS TENSION + IGM SWITCH / CDE TEMPS REEL ARMEMENT A/S DESUPERPOSER INFOS JINK ET SHOOT SUPPRIMER MODES ONE & ALL ? NECESSITE MODE ALL	REMI_SCM_AA_2B	CISCO_SCN_AS_SCALP_ 00:30 CISCO_SCN_AS_AICAS_ 12:20	
REAFF MET	AVOIR CATRAM DANS L'AVION POUR DECIDER DE LA REAFFECTATION + INTEGRER PISTE L16 AU CALC AVION TRAJ NE PRESENTER QUE LES MSL EN VOL DU WINGY REAFFECTATION METEOR PAR DEFEAT ANGLE A ISO Y ISO Z / POSITION DU MSL POUR CHOIX REAFFECT REAFFECTATION METEOR AVOIR UN BOUTON REAFFECTATION HORS MG4 INFO VERT - ROUGE MSL REAFFECTABLE DOMAINE QUI VIT AUTOUR CIBLE 2DAIRE - ENERGIE RESTANTE MSL AFFICHAGE TPS VOL RESTANT + MISSIF ACTIF CLICS SUR MSL ET CIBLE EN SITAC (ALIDADE MG3 PUIS TIR MG4) AVOIR DES INFORMATIONS POUR REAFFECTER LE MISSILE EN VOL (DISTANCE FKT + VR) VISUALISATION DE LA POSITION MISSILE METEOR	REMI_SCM_AA_2B	CISCO_SCN_AA_2C 06:35 CISCO_SCN_AA_2D 02:24	STUTCH_SCN_AA_2
LAM	REPRISE LAM PAR WINGMAN REPRISE DE LAM WINGY TPS DE LAM RESTANT PAS UTILE DIRECTEMENT SI CE N'EST POUR DETECTER PITBULL, PREFERE UNE VISU DU MISSILE = CAPACITE A ARRETER SI JUDICIEUX		CISCO_SCN_AA_2B 11:00	
DDT HUD	PERROQUET DOMAINE DE TIR HUD (ENERGIE MISSILE) LMSN TRADUCTION DES DOMAINES SITAC EN VTH			

Figure 22. Extrait de la liste des idées innovantes. Chaque idée est répertoriée en ligne par registre et en colonne par pilote avec la référence du fichier vidéo correspondant au moment de l'argumentation sur l'idée.

5.4 Traitement des données issues des idées innovantes

5.4.1 Segmentation

Etape 1

Une première segmentation de la liste des idées innovantes est réalisée selon les registres de référence hétérogènes suivants qui avaient été identifiés lors de l'analyse de l'activité réelle :

- préparation des munitions,
- gestion de capteurs,
- visualisation des menaces,
- visualisation de l'aménagement de l'espace aérien,
- guidage de trajectoire,
- configuration des écrans en cabine,
- mode de tir,
- réaffectation du METEOR,
- liaison avion/missile (LAM),
- domaines de tir (perroquet),
- weapon load
- évaluation des dégâts (Battle Damage Assessment),
- incitations (e.g., à changer de munitions),
- bascule du combat aérien vers la phase de bombardement (swing role).

Parmi cette large liste de registres, un premier tri est réalisé afin de ne conserver que les registres de référence qui traitent de critères relatifs à l'emploi des armes (cf. figure 22). Il peut y être question de capacités techniques ou de modes opératoires. Les registres de référence issus de la première segmentation spécifiques à l'armement sont les suivants :

- gestion de capteurs (PDL),
- préparation des munitions,
- mode de tir (e.g., one, all & auto)
- réaffectation du METEOR,
- liaison avion/missile (LAM),
- domaines de tir en HUD (perroquet),
- évaluation des dégâts (BDA),
- incitations (e.g., à changer de munitions),
- bascule du combat aérien vers la phase de bombardement (swing role).

Etape 2

Une seconde segmentation est ensuite opérée selon les zones du cockpit qui ont été matérialisées sur l'interface virtuelle :

- la zone tête haute (Head-Up Display, HUD),
- la zone cabine,
- la zone du champ visuel extérieur périphérique (off boresight).

5.4.2 Catégorisation

Les propositions contenues dans la liste des idées innovantes ayant suivi la seconde segmentation sont classées selon le modèle de la *hiérarchie d'abstraction* (Rasmussen, 1986) adapté pour cette étude selon les niveaux suivants :

Niveau d'abstraction	Définition	Exemple
Objectif fonctionnel	ce pour quoi l'information est conçue	Je veux DETECTER et me PROTEGER en même temps
Lois physiques et règles de métier	modes opératoires et schémas connus ou envisagés	Les ondes électromagnétiques du radar et du brouilleur se perturbent
Capacité structurelle de l'avion	information qui s'appuie sur le potentiel technique du Rafale	Je veux une fonction qui optimise par un compromis la détection radar et le brouillage
Fonctionnalité IHS	type d'interaction et traitement de l'information	Selon le contexte, je veux choisir entre un mode unique radar, unique brouillage et un compromis des deux
Représentation physique	forme de l'information	DESSIN

Tableau 1. Hiérarchie d'abstraction adaptée pour DiSTASyD.

Les niveaux d'entrée de la hiérarchie d'abstraction sont renseignés par le chiffre 1 auquel est rajouté le support sur lequel la prise conscience du problème à résoudre ou la proposition spontanée a été initiée : la lettre S correspond au support de « situation tactique » et la lettre « C » correspond à l'IHS cabine.

6 Résultats

6.1 Validité de la méthode DiSTASyD

Plus de 250 propositions d'évolutions ont été émises par les huit pilotes. Tous les pilotes participants ont exprimé spontanément au moins 20 idées chacun. La quantité produite s'avère être satisfaisante si on la compare à la trentaine formulée par les équipes des Centres d'essais en vol expertes du Rafale travaillant en parallèle sur la question.

Pour la zone HUD²¹, on comptabilise 28 propositions innovantes concernant la conduite de tir relative à l'emploi du Meteor en engagement AIR/AIR et 21 propositions pour la conduite de tir des armements AIR/SOL déjà en vigueur. Les autres propositions concernent les deux autres zones du cockpit obtenues après la seconde segmentation.

Un traitement qualitatif des 49 idées exprimées pour le HUD permet de les positionner dans les catégories des niveaux d'abstraction prévus à cet effet. Le tableau hiérarchie d'abstraction HUD obtenu n'est pas présenté pour des raisons de confidentialité. Un extrait de ce tableau est présenté en figure 23.

²¹ Ce travail de recherche présente uniquement le traitement réalisé sur les informations relatives à la tête haute (HUD). Il ne présente pas ceux concernant les informations des écrans en tête basse (cabine) ou off boresight. Ces derniers sont réalisés avec la même méthode pour le compte de l'intervention.

PILOTE	CSO_AA_1F	###	CUS_AA_1F	####	CUS_AA_1E	####	KCP_AA_1E
OBJECTIF FONCTIONNEL	REDUIRE LES ACTIONS SUR LES COMMANDES		DISTINGUER L'ARMEMENT SELECTIONNE PAR LA LOCALISATION ET LE FORMAT		INCITER AU CHANGEMENT D'ARME		INFORMER DE LA PRESENCE DES ARMOIRES SOUS L'AVION ET DE LEUR SELECTION
LOIS PHYSIQUES REGLES DE METIER	UTILISATION RAPIDE ET COMBINEE DE DETECTION ELECTROMAGNETIQUE ET INFRAROUGE (voir OSF)		CHOIX DES ARMES PAR LE PILOTE SELON LE CONTEXTE		COMPATIBILITE LIMITEES COURTES METEOR ET LONGUES MICA	2S	TIR MISSILE AIR/AIR AU COUP PAR COUP
CAPACITE STRUCTURELLE DE L'AVION	AUTONOMIE ENTRE LES CAPTEURS ET LES ARMES : DEVELOPPER UN LIEN ENTRE LE TYPE D'ARME CHOISI (MICA IR) ET LE MODE RADAR ESTIME ETRE LE PLUS ADAPTE (DOGFIGHT)	2	POSSIBILITE D'EMPLOYER PLUSIEURS TYPES D'ARMES		POSSIBILITE D'EMPLOYER PLUSIEURS TYPES D'ARMES AU MEME MOMENT	1S	PRESENTATION TYPE BARILLET
FONCTIONNALITE IHS	CREATION D'UN AUTOMATISME PARAMETRABLE EN PRMISS ACTIVABLE PAR COMMANDE TEMPS REEL HOTAS	3	CONNAÎTRE LE TYPE D'ARME SELECTIONNE ET SON MODE DE TIR	1C	CREATION D'UN AUTOMATISME DU TYPE ACCEPTATION SYSTEME SUITE AU CLIGNOTEMENT ARME DISPONIBLE	3C	PRESENTATION DE L'ARME SELECTIONNEE
SOLUTION	M M E E I I	1S	M 2A	2C	M 2A	4C	M M E E I I

Figure 23. Extrait de la liste des idées innovantes, tous pilotes confondus, filtrée selon les 5 niveaux d'abstraction adaptés de Rasmussen (1986). On observe ici les arguments avancés par 3 pilotes (CSO, CUS et KCP) concernant des informations relatives au HUD, c'est-à-dire issues de la seconde segmentation.

Le contenu en vert est formulé par le pilote. Le contenu en bleu est complété par l'ergonome. La progression du pilote dans les différents niveaux d'abstraction est numérotée dans les cases roses. Le niveau d'entrée chiffré 1 est considéré comme le moment à compter duquel la réflexion est initiée. La lettre S (situation) ou C (cabine) précise le support que le pilote utilisait au moment d'entrer dans la réflexion.

Les idées innovantes sont distribuées tout au long de la hiérarchie d'abstraction. —

DiSTASyD a été conçu pour permettre aux pilotes d'exprimer leurs propositions d'évolution sur un spectre d'abstraction le plus large possible. La figure 24 montre que les pilotes alimentent spontanément (niveau d'entrée) la réflexion à tous les niveaux de notre hiérarchie d'abstraction. Nous ne retenons que les niveaux d'entrée, afin de mettre en évidence la capacité de DiSTASyD à générer spontanément des idées sans prendre en compte l'influence du guidage de l'animateur qui cherche à compléter les autres niveaux.

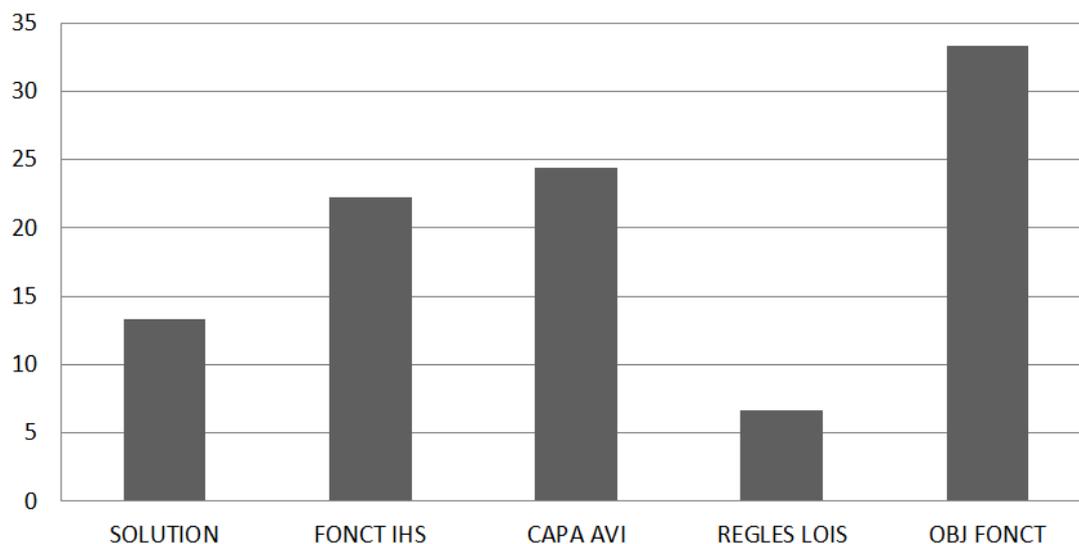


Figure 24. Répartition en pourcentages des idées en fonction du premier niveau d'abstraction abordé (n=49)

On constate que le niveau « lois physiques et règles de métier » est le moins alimenté (n=6). Ce constat est logique compte tenu de l'objectif de l'intervention qui avait pour vocation l'innovation produit. Par contre, le niveau « objectif fonctionnel » est le plus alimenté (n=33), ce qui est attendu et prisé par les équipes de conception.

Les supports « cabine » et « situation » sont complémentaires dans la génération des idées prospectives et rétrospectives. — Si l'on cherche à comprendre pour quelles raisons tous les niveaux d'entrée sont alimentés, tous scénarios réalisés confondus, la figure 25 montre que les deux supports sont complémentaires.

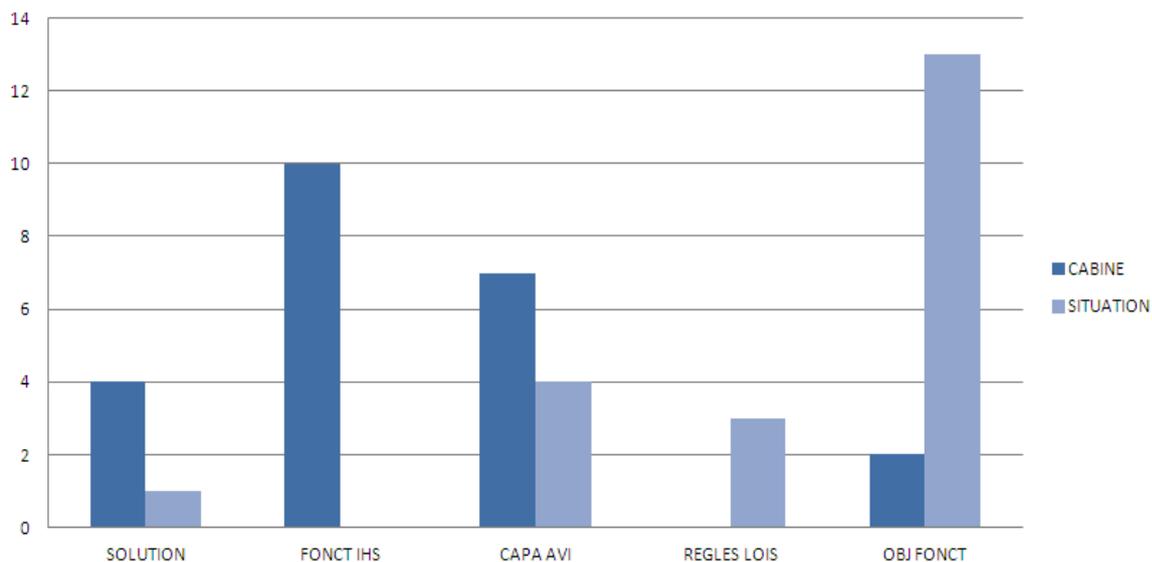


Figure 25. Distribution des idées prospectives et rétrospectives pour les supports cabine et situation en fonction du niveau d'entrée d'abstraction

On constate que le support IHS cabine facilite l'entrée dans la hiérarchie d'abstraction par les niveaux les plus bas (solution, fonctionnalités IHS), tandis que le support situation tactique favorise l'entrée par les niveaux les plus élevés (objectifs fonctionnels). Il est intéressant de constater une charnière entre les deux supports autour du niveau « capacité structurelle de l'avion ».

Le support situation tactique est particulièrement adapté aux propositions d'innovation fonctionnelles — Le support tactique a été conçu pour permettre les usages prospectifs. En effet, les avatars et les scénarios ont été conçus de telle sorte que les propositions innovantes issues de l'univers prospectif soient exprimées dans les scénarios faisant usage du Meteor (e.g. halots lumineux représentant le domaine de tir Meteor). Pour qu'un usage prospectif donne des solutions utiles, il semblerait logique que la réflexion se fasse au

niveau « objectif fonctionnel ». Comme le montre la figure 26 qui concerne les usages prospectifs, l'entrée de la réflexion par le niveau fonctionnel est favorisée par le support tactique, contrairement au support cabine.

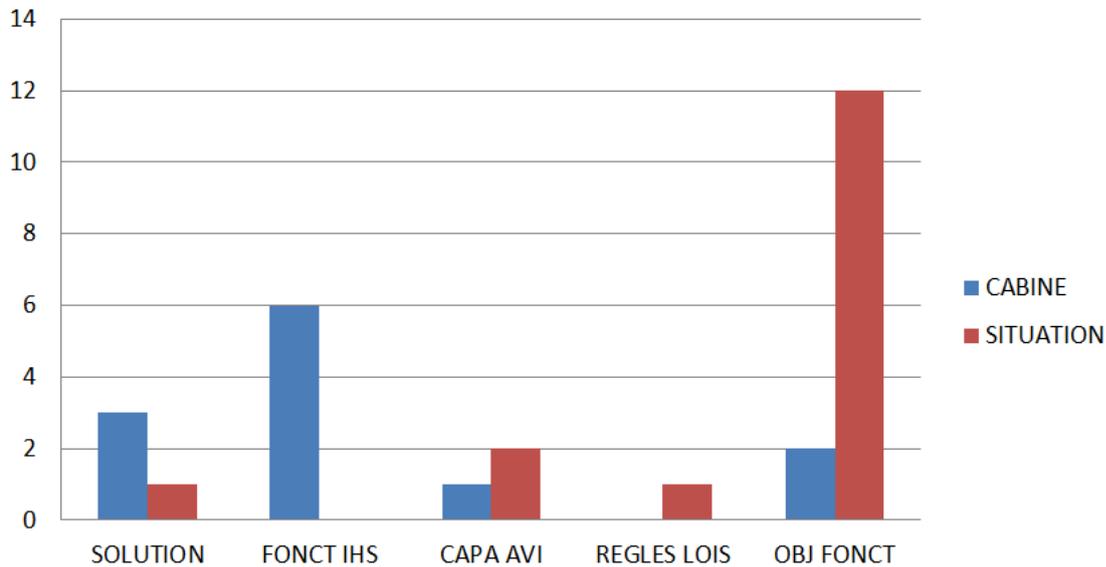


Figure 26. Distribution des idées concernant l'emploi du Meteor (n=28) pour les supports cabine et situation en fonction du niveau d'entrée d'abstraction

Cette section avait pour objectif de démontrer la pertinence méthodologique de DiSTASyD pour produire spontanément des idées créatives, argumentées selon tous les niveaux d'abstraction, en particulier au niveau « objectif fonctionnel » lorsqu'il s'agit des usages prospectifs. La section qui suit vise à présenter la qualité de la méthodologie destinée à produire des propositions d'évolution innovantes et utiles pour améliorer un avion déjà en service. Elle présente à travers l'exemple d'un écran renouvelé comment notre méthodologie globale articule la méthode de divergence des idées à l'aide de DiSTASyD et la méthode de convergence des idées par l'exploitation par la hiérarchie d'abstraction.

6.2 Apport de la méthode à une innovation anthropocentrée

6.2.1 Principe d'exploitation de la hiérarchie d'abstraction

Lorsque l'ensemble des idées innovantes a été classé selon le filtre des niveaux d'abstraction, nous obtenons un tableau de « hiérarchie d'abstraction écran HUD ». Ce tableau est issu de la seconde segmentation (§ 5.4.1) contenant en colonnes, selon la « hiérarchie de raffinement » du modèle de Rasmussen, des **groupes** constitués par les registres spécifiques (weapon load, perroquet, incit, mode de tir, temps de vol, etc.). Au sein de ces groupes on distingue des **sous-groupes** qui sont les propositions exprimées par les pilotes.

Ainsi, le tableau de « hiérarchie d'abstraction écran HUD » permet de juxtaposer des colonnes de sous-groupes appartenant à des groupes de registres différents mais dont des niveaux d'abstraction sont formulés de manière identique. Il est alors possible d'établir des **connexions** entre ces registres (cf. figure 27).

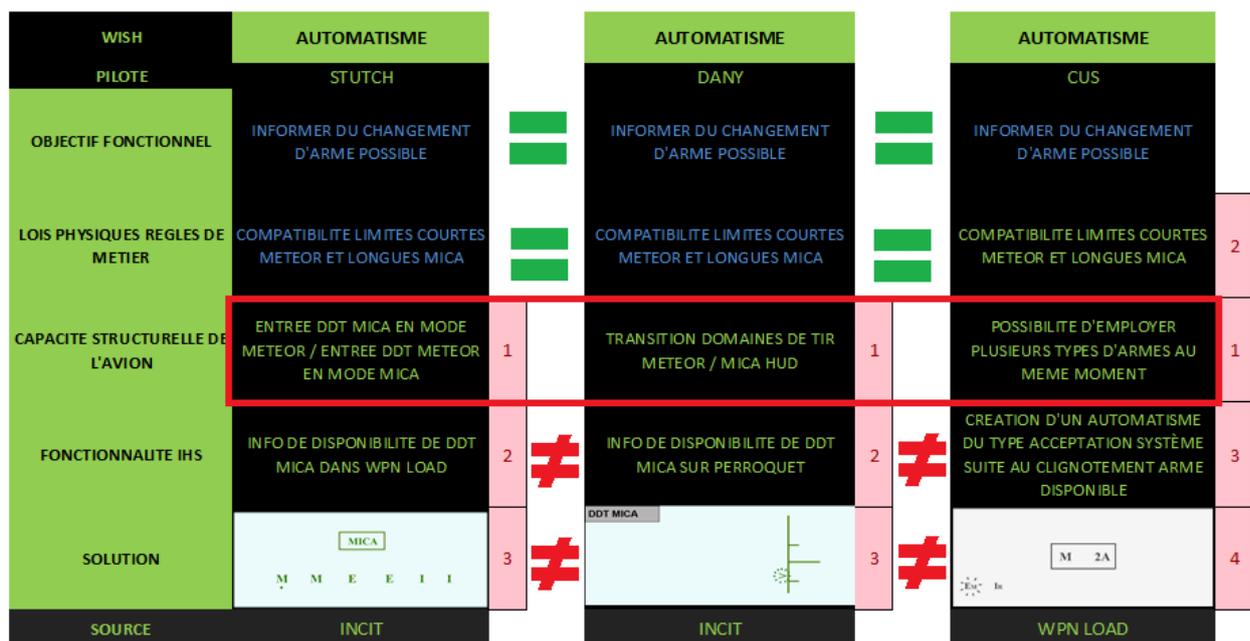


Figure 27. Exemple de connexion inter-registres réalisée au sein du tableau de « hiérarchie d'abstraction HUD » au niveau de la capacité structurelle de l'avion. Le besoin exprimé par 3 pilotes (Stutch, Dany et Cus) converge au niveau d'abstraction « capacité structurelle de l'avion ». Les niveaux supérieurs sont renseignés pour tous par analogie avec le niveau atteint par « Cus ». Les niveaux inférieurs correspondent finalement au même besoin mais sont traduits graphiquement en solution différentes.

Les niveaux communs entre diverses propositions permettent de les rapprocher afin de les comparer. Plus ce niveau d'abstraction est élevé, plus le besoin est précis compte tenu du fait que les niveaux d'abstraction inférieurs sont presque toujours renseignés. La dynamique de l'animation en simulation pousse le pilote à une réflexivité autonome qui s'exprime plus facilement sur « comment » que sur « pourquoi » il agit de la sorte. Parfois, une des colonnes mises en commun présente un niveau d'abstraction supérieur aux autres pour un des pilotes. L'élévation de niveau des autres est alors possible par analogie. Dans le cas contraire, si aucun pilote ne permet d'élever le niveau abstraction, ce travail est réalisé par l'ergonome de manière déductive ou bien n'est pas renseigné.

Dans l'exemple de la figure 27 on constate qu'il existe un niveau d'abstraction commun, celui des capacités structurelles de l'avion. Les trois propositions faites par trois pilotes différents (STUTCH, DANY et CUS) appartiennent à deux registres différents (WPN LOAD et INCIT). Parmi les trois pilotes, CUS atteint un niveau d'abstraction plus élevé que les autres en abordant celui des lois physiques. Il est ainsi possible par analogie d'élever le niveau d'abstraction des deux autres propositions de manière identique. Si l'analogie n'avait pas été possible, alors le niveau d'abstraction supérieur n'aurait pas été renseigné. Bien que les justifications des niveaux inférieurs soient différentes, notamment les solutions graphiques, il existe un besoin commun que l'on retrouve au niveau de l'« objectif fonctionnel ». Les différentes solutions graphiques ou fonctionnalités permettent d'envisager la déstructuration du système existant afin de lui redonner de l'homogénéité. De plus, le travail d'ingénierie de l'ergonome consiste à intégrer le maximum de propositions faites dans une proposition intégratrice pour le HUD et cohérente des autres propositions qui seront faites pour les autres zones du cockpit (off boresight et tête basse cabine).

L'avantage incontestable de ce procédé est de pouvoir suggérer des proposition innovantes, intégratrice du besoin des pilotes en lieu et place de solutions qui auraient été le résultat soit de choix arbitraires faits par les concepteurs, soit de la superposition ou de l'agglomérat des idées de chacun des huit pilotes.

6.2.2 L'exemple d'une innovation dans l'écran HUD : le WEAPON FILE

Dans cette section, nous montrons comment notre méthodologie permet de construire une solution innovante, fondée sur le besoin des pilotes et non sur des choix d'ingénierie. Nous prenons l'exemple de la création d'une zone nouvelle que nous avons baptisée « WEAPON FILE ».

Dans un premier temps, nous extrayons le besoin des pilotes sur la base de l'analyse du tableau de la hiérarchie d'abstraction du HUD. Il en ressort que les objectifs fonctionnels suivants sont centraux :

- Présenter une visualisation stable de l'armement disponible sous l'avion en vue arrière ;
- Connaître la présence des armes emportées ;
- Connaître la nature des armes emportées ;
- Localiser précisément la munition sous l'avion ;
- Connaître la nature et la localisation des armes sélectionnées ;
- Etre informé de la disponibilité des solutions tir de toutes les armes emportées non sélectionnées ;
- Etre informé de la sortie imminente du domaine de tir ;
- Contrôler le plan de tir ;
- Etre informé de la probabilité d'interception cinématique du missile tiré et de la probabilité d'interception d'une autre piste ;
- Autres fonctions classifiées.

6.2.2.1 Solutions actuelles à reconcevoir

Dans le viseur tête haute (HUD), trois zones sont actuellement réservées à la gestion de l'armement. Il s'agit des registres de référence appelés weapon load, perroquet et cartouche armement.

- Le **weapon load** offre une représentation visuelle de l'armement disponible sous l'avion sans tenir compte du positionnement réel des armes. Le principe de « barillet » adopté qui décale à chaque nouvelle sélection d'armement son symbole en début de ligne à gauche, informe le pilote de la présence, de la nature et de la sélection de l'armement. Cependant, les informations en HUD sont instables en raison du principe de « barillet » qui redistribue l'affichage des autres munitions à chaque nouvelle sélection d'armement (cf. figure 28). Le weapon load informe également le pilote du temps de vol du missile air/air et de l'état de la liaison avion/missile (LAM).



Figure 28. Weapon load actuel

- Le **perroquet** est une échelle analogique verticale informant le pilote de la distance qui le sépare de sa cible et lui fournissant des indices concernant son domaine de tir (cf. figure. 29). Ils se matérialisent par un pourcentage et trois repères sous forme de traits horizontaux LLSE (limite longue d'entrée dans le domaine), LLAE (cœur de domaine) et LC (limite courte de sortie du domaine).

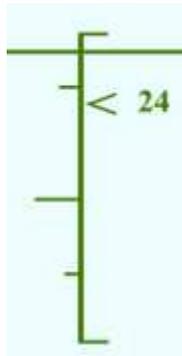


Figure 29. Le perroquet actuel

- Le **cartouche armement** informe le pilote de la sélection de l'armement qu'il a réalisé par l'intermédiaire d'une commande située sur la manette des gaz ou bien d'un écran en cabine (visualisation tête latérale). Il précise également le mode particulier dans lequel cet armement sera utilisé ce qui aura un impact sur le domaine de tir et la trajectoire de l'arme.

6.2.2.2 Processus de déstructuration du HUD

Pour l'armement air/air ou l'armement air/sol, les solutions graphiques proposées par tous les pilotes portent toujours au moins sur le weapon load. Cette zone a donc été analysée en priorité car elle a été considérée comme le socle incontournable de la gestion de l'armement en HUD.

La plupart des propositions graphiques du weapon load (7 sur 8) présente une nouveauté qui consiste à entourer le symbole de l'arme que le pilote a sélectionné (cf. figure. 30). Par cet acte réalisé sur un tableau vierge, les pilotes ont d'eux-mêmes entamés un processus de déstructuration des deux autres composants du HUD (perroquet et cartouche mode

armement). En effet, le cerclage de l'arme sur le weapon load marque une redondance avec le trigramme contenu dans le cartouche mode armement.



Figure 30. Proposition de cerclage de l'arme sélectionnée

Par ailleurs, le niveau d'abstraction commun pour le registre weapon load et le registre cartouche mode armement se situe au niveau bas « fonctionnalité IHS » renseigné comme suit : *informer le pilote du type d'arme sélectionnée*. La connexion est ainsi évidente. Elle confirme la redondance entre ces deux zones du HUD.

D'autres propositions issues du niveau d'abstraction des fonctionnalités confirment ce besoin de déstructuration, notamment lorsqu'il s'agit de solutions issues de l'univers prospectif. Les pilotes expriment le besoin d'être informé qu'un autre choix d'armement est possible (e.g. ils utilisent le Meteor mais peuvent aussi utiliser le MICA). Pour cela certaines propositions graphiques font flasher le curseur de distance du perroquet alors que d'autres font flasher le symbole de l'arme sur le weapon load ou bien lui insèrent un point dessous.

6.2.2.3 Processus de reconstruction du HUD

C'est ainsi qu'est apparu possible voire nécessaire le décroisement des trois zones registres de référence pour créer une nouvelle zone qui rassemble les trois autres : le WEAPON FILE. Le weapon load étant considéré comme l'élément fondamental pour la gestion de l'armement en HUD, il est conservé mais il récupère les informations issues du « perroquet » et du « cartouche armement », ces derniers perdant des informations essentielles et allant même jusqu'à disparaître. Le WEAPON FILE est enrichi en intégrant de nouvelles informations issues des usages prospectifs spécifiques à l'emploi du futur missile Meteor.

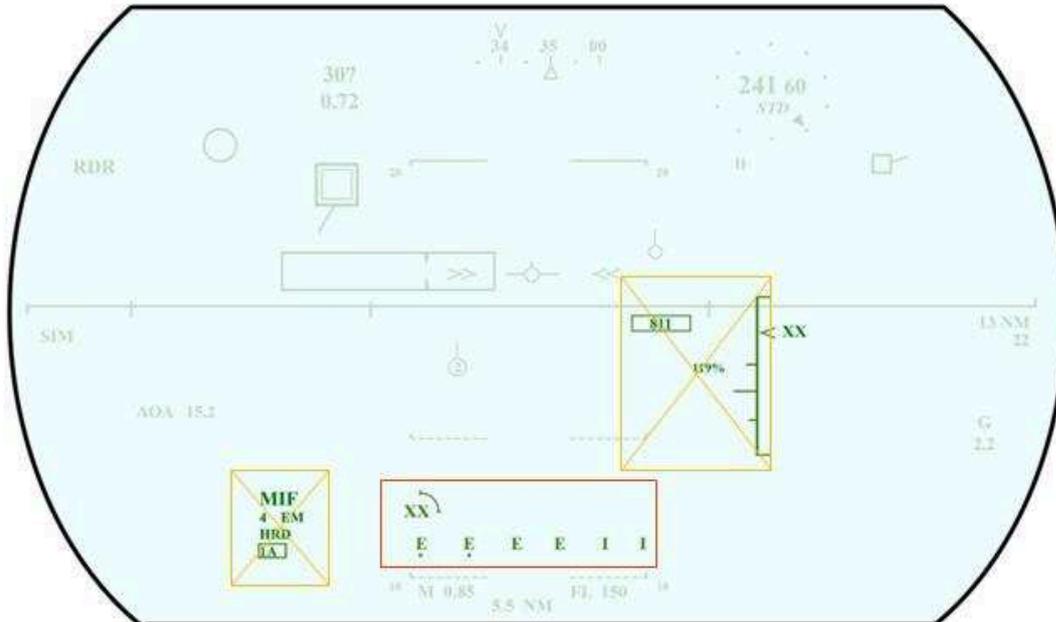


Figure 31. Déstructuration du HUD actuel en conduite de tir AIR/AIR. Les zones ambre « perroquet » à droite et « cartouche armement » à gauche perdent des informations allant même jusqu'à disparaître. La zone rouge va s'enrichir en les récupérant et en intégrant de nouvelles informations issues des usages prospectifs.

6.2.2.4 Combinaison des informations pour créer un WEAPON FILE

Les multiples connexions entre niveaux d'abstraction ont tout d'abord permis de combiner le maximum de propositions faites en conduite de tir AIR/AIR (utilisation de missiles MICA et Meteor) et en conduite de tir AIR/SOL (utilisation de bombes guidées et autonomes). Ensuite, l'objectif d'homogénéité nous a conduit à combiner la conduite de tir AIR/AIR et la conduite de tir AIR/SOL pour ne donner plus qu'une seule conduite de tir. Finalement, le weapon load s'étoffe pour devenir un **weapon file** qui offre de surcroît de nouvelles fonctionnalités telles que la réaffectation du missile en vol (cf. figure 32).

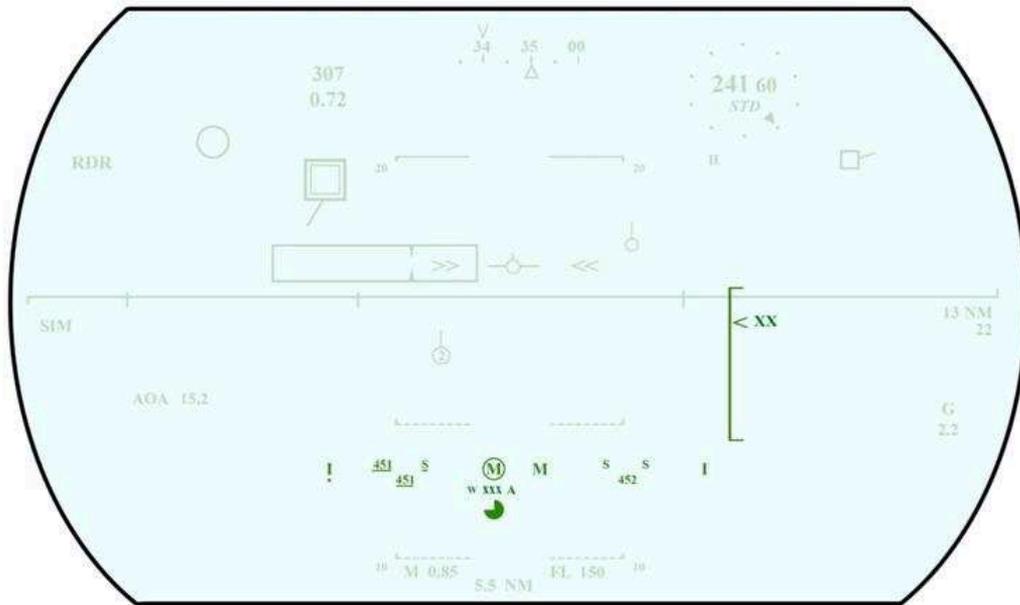


Figure 32. Proposition de HUD futur qui regroupe les conduites de tir AIR/AIR et AIR/SOL avec des fonctionnalités supplémentaires telles que l'incitation à employer une autre arme, la réaffectation du Meteor et la reprise de LAM.

7 Discussion

7.1 Synthèse des résultats

Cette recherche exploratoire montre que la méthodologie intégrant le dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD) et la hiérarchie d'abstraction permet de produire des idées innovantes pour la conception d'une interface nouvelle de l'avion Rafale. Le traitement des idées innovantes par le modèle de la hiérarchie d'abstraction pour segmenter, filtrer et regrouper le maximum de propositions permet de formuler une proposition intégrative sous forme de prescriptions fonctionnelles et techniques à l'intention du concepteur (cf. figure 11).

- DiSTASyD se caractérise par la production d'idées émergeant spontanément à tous les niveaux d'abstraction, grâce à la complémentarité des deux supports situation tactique et cabine élaborés spécifiquement.
- On constate que le module **TACTIQUE**, fait de maquettes d'avions jouant le rôle d'avatar et offrant à l'utilisateur une vision allocentrée de l'activité simulée, est propice à la formulation d'idées innovantes du niveau « fonctionnel ». Les spécifications fonctionnelles qui en découlent sont prisées par les prescripteurs. Le module **IHS TANGIBLE**, qui génère une représentation égocentrée de l'activité, est propice à la formulation des solutions innovantes du niveau « fonctionnalités et solutions graphiques ». Les spécifications techniques qu'elles génèrent sont des exemples utiles destinés à guider le concepteur.
- L'analyse des usages prospectifs montre l'importance du support tactique qui favorise la réflexion au niveau fonctionnel, contrairement au support cabine.

Concernant la qualité du produit conçu, le traitement de l'ensemble des propositions par la connexion de niveaux d'abstraction permet de construire une proposition intégratrice du besoin exprimé par un maximum de pilotes, en lieu et place de solutions qui auraient été le résultat soit de choix arbitraires, soit de la superposition ou de l'agglomérat des idées émises.

7.2 Réponse à la problématique

La méthodologie que nous avons déployée avait pour objectif d'innover « utilement », afin de ne pas déstabiliser un système technique et organisationnel déjà opérationnel. Notre approche d'aide à la conception centrée utilisateur était guidée par la nécessité de prévoir les usages futurs afin d'améliorer la performance du système humain/machine Rafale et protéger le pilote du risque vital.

En réponse à l'exigence d'innovation « utile », quatre déterminants essentiels ont été articulés :

- l'**activité** comme ancrage crucial pour faire émerger les usages par la **simulation tangible** ;
- la **connaissance fine des contraintes du terrain** portée par les participants à la simulation, qui sont les utilisateurs du produit directement concernés par ses évolutions ;
- le **réalisme des scénarios** de prescriptions et d'évènements issus d'une analyse de l'activité préalable ;
- la **réflexivité** spontanée et/ou guidée autour du triptyque « action, intention, moyen ».

La créativité nécessaire à l'innovation naît de la confluence (Sternberg & Lubart, 1995 et 1996) simultanée d'aptitudes intellectuelles, de traits de personnalité, de connaissances, de motivation, de capacités à argumenter, mais également d'un environnement qui la favorise. Le profil retenu des participants permet de répondre aux exigences de connaissances (qualification élevée des pilotes), de motivation (l'outil de travail avec lequel ils peuvent mourir). L'analyse de l'activité a également montré que les pilotes de chasse disposent des aptitudes pour être créatifs dans l'exercice de leur mission à risque (§ 3.1). L'environnement créé propice à la créativité repose sur trois constituants essentiels :

- un support idéationnel puissant, concrétisé par le module IHS tangible, qui permet au pilote d'adopter un point de vue égocentré et de créer son cockpit en faisant abstraction des contraintes techniques actuelles ;
- un support tactique permettant au pilote d'adopter un point de vue allocentré et mettant en scène des avatars porteur de la future capacité (missile Meteor) dont l'usage est à construire (univers prospectif) par la simulation ;

- des protagonistes du processus de simulation formant une équipe d'experts interdisciplinaires, de façon à construire le besoin autour de l'utilité qu'il faut argumenter. En plus des arguments échangés avec les ergonomes, l'utilité-valeur est débattue avec les experts métiers alors que l'utilité-destination est généralement instruite avec les ingénieurs industriels.

La méthodologie déployée est destinée à co-construire les futurs usages des pilotes afin d'orienter la conception d'une interface permettant de conduire le tir d'un missile. Comme le montrent nos résultats, les modes opératoires des pilotes révélés par la simulation de l'utilisation du Meteor donnent essentiellement lieu à des propositions du niveau fonctionnel (cf. figure 26).

Nous considérons que les résultats obtenus sont satisfaisants compte tenu de la nature des idées innovantes produites, compréhensibles et concrètes pour une intégration sans risque dans un cockpit.

7.3 Originalité du dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD)

Il est trop tôt pour se prononcer sur l'impact de notre méthodologie utilisant DiSTASyD sur le processus de conception en aéronautique militaire. Une appréciation de sa validité externe se dégagerait de la confrontation des résultats avec ceux issus des méthodes de brainstorming ou de brainwriting (Nelson, 2011) utilisées d'autre part par les experts Rafale des centres d'essais en vol. Nous faisons l'hypothèse que les résultats qu'ils produiront pourraient ne rester qu'à un bas niveau d'abstraction à l'instar des nôtres issus du module IHS (cf. figure 25). Nous devrions alors rencontrer des propositions argumentées autour des niveaux capacités structurelles de l'avion, fonctionnalités et solutions graphiques.

Indépendamment de la qualité des propositions faites, notre méthodologie aura démontré toute sa pertinence par la plus-value qu'elle apporte avec des propositions de niveau fonctionnel. Son efficacité quant à la qualité des propositions extraites ne sera réellement éprouvée que lorsqu'un prototype réalisé par l'avionneur pourra être évalué. S'il donne satisfaction, notre méthodologie pourra être considérée innovante.

Nous proposons de discuter de la contribution de notre méthodologie utilisant DiSTASyD à l'ergonomie tout d'abord, en analysant en quoi elle se singularise des celles qui

s'appuient sur des systèmes de simulation dynamique du type simulateur « haute-fidélité » à échelle 1 ou des « micro-mondes » comme support d'analyse de l'activité pour la conception. Dans un second temps, nous discuterons de la pertinence des adaptations apportées à SAST pour concevoir notre méthodologie articulée autour de DiSTASyD et de la hiérarchie d'abstraction.

7.3.1 Spécificités de DiSTASyD

Le dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD) est original car il se distingue des autres outils usuels de simulation de l'activité en systèmes dynamiques pour quatre raisons majeures :

1. La simulation accepte tous les points de vue. – DiSTASyD est un système statique de simulation animée autour de la représentation allocentrée d'une activité en système dynamique habituellement perçue de manière égocentrée par le pilote dans son poste de travail. Dans un simulateur dynamique haute-fidélité à échelle 1 ou dans un « micro-monde », le pilote dispose d'une vue 2D de la situation tactique. En simulateur d'entraînement, cet écran est le CTM/HLD. Dans ces environnements, le pilote ne peut pas interagir de manière tangible sur les composants de la situation. Il ne peut pas non plus adopter le point de vue des autres acteurs. Ayant accès à tous les points de vue grâce à DiSTASyD, le pilote peut adopter une vision allocentrée ou égocentrée de la situation (Arleo & Rondi-Reig, 2007). Il peut adopter son point de vue, celui de son équipier ou celui de ses adversaires.

2. La simulation est interrompible. – En simulateur dynamique « haute-fidélité » à échelle 1, l'explicitation de son raisonnement par le pilote du type « penser à voix haute » n'est pas possible au risque de dégrader sa performance. Bien que la simulation soit interrompible, il est extrêmement complexe pour des raisons techniques de resynchroniser le simulateur lors des retours en arrière. La synchronisation opératoire est délicate pour le pilote lors de la reprise en raison des attitudes de l'avion et des contraintes temporelles que l'animateur a interrompu artificiellement au moment du « gel » de la simulation. Les interruptions régulières avec DiSTASyD n'altèrent pas la dynamique de la réalisation de l'action en raison de l'absence de contraintes temporelles intrinsèque à ce type de simulation. Le système de simulation est statique bien qu'il représente une activité en système dynamique. Il est cependant important de synchroniser l'ensemble des protagonistes à l'issue de chaque interruption. « L'interrompabilité » est le principal atout de ce type de simulation qui permet

la réflexivité, l'accès à la compréhension de l'activité en discrétisant les tâches (timeline) et la production d'idées créatives co-construites autour du triptyque « actions, intention, moyen ».

3. La simulation est reproductible. – La reproductibilité des situations est incontournable dans la mesure où un nombre élevé de participants est recherché afin de privilégier la fluence, la flexibilité et l'originalité des propositions (Torrance, 1966). En simulateur dynamique haute-fidélité échelle 1, les sujets réalisent leur activité en prenant en compte l'évolutivité du contexte et leurs actions sont difficilement maîtrisables par l'animateur. Il est illusoire de pouvoir reproduire parfaitement les situations entre deux passations réalisées avec deux pilotes différents. Le dispositif DiSTASyD est conçu de telle sorte que l'évolution des maquettes sur le support est contrôlée par l'animateur. Ceci permet de reproduire les mêmes scénarios à chaque passation individuelle. Un simulateur de type « micro-monde » qui permet de maîtriser les variables aurait permis de répondre parfaitement à cette exigence, mais n'aurait pas permis d'être aussi créatif en raison du caractère figé de l'interface de simulation.

4. La simulation est une stimulation de créativité. – Les simulateurs dynamiques « haute-fidélité » à échelle 1 ou les « micro-mondes » qui ne reproduisent qu'un système en service ou prototypé, ne permettent pas d'accéder, dans l'action, à l'univers prospectif recherché par l'objectif d'innovation. Les modules de DiSTASyD servant de support sont tangibles et modifiables. Les actions réalisées avec les maquettes peuvent être rejouées ou extrapolées. Le support IHS vierge se construit progressivement, peut s'effacer ou être remodelé. Chaque information ajoutée est considérée par le pilote comme fonctionnelle et acquise. Elle est intégrée instantanément dans son activité et donne lieu à un nouvel instrument avec lequel le pilote développe de nouveaux usages imaginés et construits avec le souci d'innover utile. Cette flexibilité des supports génère celle de la réflexion collective, produisant ainsi des propositions créatives.

7.3.2 Adaptation nécessaire de SAST

Notre méthodologie utilisant le dispositif de simulation tangible de l'activité en système dynamique (DiSTASyD) est une adaptation nécessaire de SAST pour l'analyse de l'activité en système dynamique.

L'approche utilisant SAST soumet les scénarios de prescription à l'épreuve de l'activité simulée par les utilisateurs. Qu'il s'agisse de conception architecturale ou organisationnelle, il existe au départ un scénario de prescriptions dans lequel les usages sont analysés notamment en présence d'évènements caractéristiques. La conception du dispositif DiSTASyD adaptée de l'approche SAST est motivée par deux raisons essentielles :

- Tout d'abord l'activité à laquelle DiSTASyD s'adresse. L'activité en système dynamique nécessite une adaptation permanente à la variabilité du contexte parfois sous forte contrainte temporelle lorsqu'il s'agit de l'aviation de chasse. Nous cherchons donc à recruter un maximum de modes opératoires éprouvés dans un maximum de situations caractéristiques pour obtenir un maximum de propositions innovantes (cf. figure 11). Ces propositions résultent de solutions aux problèmes envisagés lors des mises en situation sur le support tactique. Afin de ne pas brider la créativité, les scénarios de prescriptions sont minimalistes. Ils ne concernent pas l'outil à concevoir (le cockpit est initialement vierge) mais ne concernent que le contexte d'emploi : les missions et les capacités de l'avion.
- Ensuite, la forme des données produites. SAST vise à élaborer un prototype dont la fidélité s'affine selon le nombre d'itérations réalisées et la capacité des participants à se projeter dans leur activité. Le produit de DiSTASyD est un ensemble de nombreuses propositions divergentes issues des usages prospectifs et rétrospectifs appartenant à divers registres. Nous avons exploité le modèle de la hiérarchie d'abstraction pour segmenter, filtrer et faire converger le maximum de ces propositions en formulant une proposition intégrative sous forme de prescriptions fonctionnelles et techniques à l'intention du concepteur (cf. figure 11).

Ainsi, considérant les éléments présentés, nous considérons que la méthodologie utilisant DiSTASyD et la hiérarchie d'abstraction est adaptée à la production de propositions innovantes pour la conception de système dynamique.

7.3.3 Une nouvelle catégorie de support

Le support de simulation DiSTASyD est un support intermédiaire d'aide à la conception que l'on peut intégrer à la catégorisation proposée par Nelson (2011) adaptée de Rudd et coll., (1996). Nous proposons le tableau 2 comme représentation des avantages et des inconvénients de ces outils. Cette catégorisation rend compte de la proximité de

DiSTASyD avec les outils intermédiaires à « haute-fidélité ». Elle met en évidence la force de DiSTASyD pour l'analyse des usages, la production de spécifications fonctionnelles et l'interactivité.

Support	Coût	Usages	Utilisabilité	Spéc. Fonct.	Spéc. Tech.	Guidage	Interactivité
Basse Fidélité	++	--	--	+	--	--	--
DiSTASyD	+	++	-	++	+	--	++
Haute Fidélité	--	+	++	--	++	++	++

Tableau 2. Positionnement du support DiSTASyD parmi les objets intermédiaires d'aide à la conception.

Coût : inclut le coût financier mais également le temps nécessaire à la réalisation de l'intervention (+ signifie économique et délai court)

Usages : permet d'identifier les usages prospectifs ou non

Utilisabilité : permet de tester l'utilisabilité

Spécifications fonctionnelles : permet de les définir

Spécifications techniques : permet de les définir

Guidage : nécessite d'être guidé par un animateur ou autre

Interactivité : permet les interactions entre le sujet et l'outil et/ou entre le sujet et les autres acteurs du projet.

7.4 Limites

Les analyses de résultats proposées dans ce document sont exclusivement de nature descriptive. Bien qu'il soit néanmoins possible de réaliser des analyses inférentielles à partir des données recueillies (e.g., effet du nombre d'heures de vol sur la productivité d'idées innovantes), ce genre d'analyses n'est pas adapté pour répondre aux objectifs des travaux présentés.

1. Le guidage. – Une des faiblesses de DiSTASyD, révélée par le tableau de classification (tableau 2), concerne le guidage. Effectivement, il apparaît que le rôle de l'animateur de la simulation a un poids conséquent sur la productivité de la méthode.

L'animation, dans cette méthode axée sur l'innovation utile, nécessite une forte compétence métier (celle de pilote de Rafale). Cette compétence métier est nécessaire pour animer les scénarios en introduisant les événements de manière pertinente, pour gérer les interactions pilote/situation et pour juger de l'argumentation rationnelle sur l'utilité des propositions innovantes exprimées (cf. figure 33).

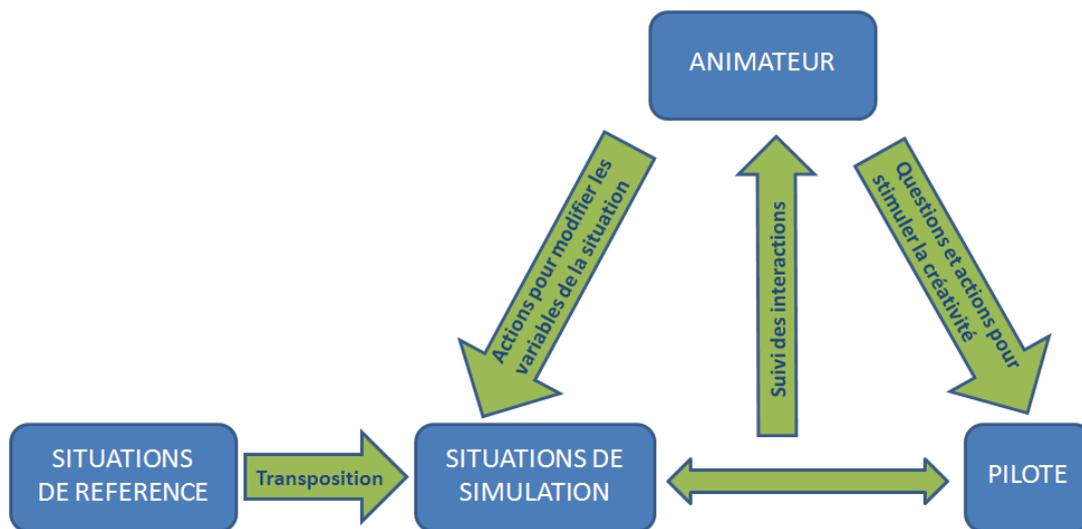


Figure 33. Médiation pilote/situation de simulation via l'animateur adapté de Samurçay & Rogalski (1998)

Dans notre travail, l'animateur occupe trois fonctions simultanées : celle d'ergonome interne de l'armée de l'air, celle de pilote expérimenté (chef de patrouille Rafale) et celle d'officier supérieur. Ces deux dernières fonctions peuvent être a priori un frein pour la créativité du pilote passant la simulation. L'écart de grade qui impose le respect, ainsi que l'expérience de pilote (plus de 2000 heures de vol) peuvent engendrer une certaine retenue de la part des participants, et les contraindre implicitement à ne pas s'écarter des règles de

métier et des méthodes prescrites, qu'elles soient explicites ou implicites. Pour contourner ce biais potentiel, l'animateur propose d'adopter le tutoiement, plus naturel dans un cadre de co-construction. Le passage du vouvoiement au tutoiement au cours de la simulation peut être considéré comme un marqueur d'effacement de l'ordre hiérarchique plus favorable à l'échange et à l'exploration des idées innovantes. Au fil de la séance, le sujet découvre la démarche de co-construction car l'animateur est capable de comprendre le langage opératif, d'évaluer la qualité des idées tactiques exposées et d'éprouver leur bienfondé. Ainsi l'argumentation des idées innovantes est construite autour de l'utilité.

Dans cette relation réflexive entre l'animateur et le participant, la confiance joue un rôle fonctionnel central (Van Belleghem, 2013). L'animateur doit « faire confiance » au pilote qui lui révèle ses logiques d'action effectives. L'animateur lui confie la responsabilité d'être un représentant du genre « pilote de Rafale ». A ce titre, le participant est investi de ce rôle et cherche à produire le maximum de propositions utiles. L'animateur doit aussi « recevoir la confiance » du participant en faisant preuve d'une capacité d'écoute, pour entendre et comprendre la réflexion du pilote, être digne d'accueillir ses confidences lorsqu'il s'agit d'exprimer les difficultés actuelles et futures qu'il cherche à corriger par la conception d'une nouvelle cabine. La construction de cette confiance réciproque semble être facilitée par le fait que l'animateur n'est pas un pilote exerçant en unité de combat. Ainsi, le sujet n'ayant pas le sentiment d'être jugé par un pair exprime plus librement ses idées.

2. Validité écologique. – Les supports, les scénarios de prescriptions et les événements injectés dans l'outil de simulation DiSTASyD ont été inspirés par la phase d'analyse de l'activité préalable à la simulation (§ 4.1). Cette analyse s'est appuyée sur des observations et des entretiens d'autoconfrontation menés dans un escadron opérationnel pendant cinq jours auprès de dix pilotes de Rafale totalisant chacun plus de 1000 heures de vol. Cet ancrage méthodologique constitutif de l'intervention ergonomique permet de réduire le risque d'un décalage entre activité simulée et activité réelle. Les scénarios prospectifs et les logiques d'usages mis en jeu lors de la simulation n'ont rencontré aucun point bloquant quant au réalisme des situations envisagées.

L'absence dans DiSTASyD des contraintes temporelles auxquelles est soumis le pilote de chasse dans son activité de conduite de tir, pourrait représenter un point faible ou un biais de la méthode et remettre en question la validité écologique de la méthodologie. Les

représentations des pilotes réfléchissant et spéculant sur leur activité future en environnement dynamique pourraient se révéler être fausses. Les pilotes pourraient proposer de réaliser telle action sur la base de telle information alors qu'ils n'en ont en réalité pas le temps, pas les ressources ou tout simplement plus besoin.

Ce point faible a fait l'objet d'une attention particulière dans le cadre de l'intervention et a donné lieu à l'intégration d'un outil supplémentaire. Se limitant à ce qui concerne les propositions d'améliorations relevant de l'existant par un examen de l'univers rétrospectif, nous avons cerné leur utilité réelle en examinant les contraintes que ces propositions relâchent ou évacuent par une mise en situation dynamique. Les scénarios déjà simulés sur DiSTASyD ont également été rejoués par les mêmes pilotes sur simulateur d'entraînement dynamique « haute-fidélité » dans lequel a été intégré un oculomètre. L'analyse du parcours oculaire permet de confirmer, sous contraintes temporelles réelles, sans explicitation à voix haute, la pertinence des informations exprimées lors des séances de simulation sur support tangible (cf. figure 20). Cette situation de simulation dynamique a également révélé une forme d'activité empêchée (Clot, 1999), c'est-à-dire des actions exprimées utiles avec DiSTASyD que le pilote n'arrive pas à réaliser en raison de la configuration du cockpit actuel, de la dynamique du contexte ou encore d'un manque de compétence. Ce travail réalisé dans le cadre de l'intervention, outillé par des entretiens d'auto-confrontations, n'a pas été développé dans ce travail de mémoire.

3. Origines des représentations évoquées. – La question des représentations utilisées par les pilotes participants à la simulation pour produire des propositions innovantes reste à instruire. En effet, il est impossible de déterminer à quels types de situations mémorisées le pilote fait appel lorsqu'il simule son activité sur le support tangible. On pourrait penser que le pilote se replonge dans une mission vécue lui servant de référence en raison de la qualité de la performance réalisée ou bien qu'il puise ses idées dans une mission recomposée à partir de différents épisodes l'ayant marqué par leur intensité émotionnelle ou encore même issue de l'expérience d'autrui. Que les idées innovantes soient issues d'épisodes marquants ou de raisonnement analytique, l'expérience est certainement essentielle pour faciliter l'innovation utile. En revanche, l'expertise dans un domaine de la mission peut également amener le pilote à exprimer des idées puisées dans ses images opératives (Ochanine, 1978) et le conduire à déformer sa perception de la simulation et par conséquent du besoin. N'en va-t-il pas de même pour toute méthode idéative ?

Notre méthodologie n'avait pas vocation à répondre à cette question mais il n'en demeure pas moins que les notions d'utilité valeur et d'utilité destination seraient mieux appréhendées par la connaissance des représentations sous-jacentes.

Conclusion

Notre travail de recherche a été mené dans le cadre d'une intervention particulière à plusieurs titres. Elle se déroule dans le milieu de la conception aéronautique militaire dont les méthodes en vigueur ne font pas appel à l'ergonomie de l'activité. Il s'agissait de concevoir l'interface humain/système du futur Rafale alors que les déterminants de l'activité du pilote de chasse restent encore méconnus car peu étudiés. L'accès délicat à cette activité de conduite de système dynamique à risque réalisée seul à bord d'un avion supersonique, peut expliquer les difficultés de représentations éprouvées par les concepteurs. La place réservée à l'innovation dans ces systèmes militaires déjà opérationnels reste extrêmement surveillée et doit être utile. Nous avons montré au cours de notre intervention que l'ergonomie de l'activité pouvait répondre au besoin d'innover sans risque. S'inscrivant dans le courant de l'ergonomie prospective, la méthodologie que nous avons développée permet de garantir aux concepteurs que les propositions d'innovation co-construites répondront utilement aux besoins futurs des pilotes.

Notre travail d'aide à la conception prend naissance de l'analyse de l'activité réalisée en escadron opérationnel à partir d'observations ouvertes et d'entretiens conduits avec des pilotes de Rafale. Mais pour atteindre à la fois une compréhension fine de l'activité de ces pilotes et utiliser leur créativité pour innover, nous avons eu recours à la simulation de leurs missions actuelles et futures sur un support tangible. Par le biais de ces séances, l'activité s'est révélée aux yeux du groupe de concepteurs et les pilotes de première ligne ont pu co-construire leur futur outil de travail sous forme de fonctions et de solutions graphiques. L'évaluation du prototype intégrant ces idées qui sera réalisée en conditions opérationnelles permettra de statuer sur le caractère innovant de notre méthodologie comme rencontre entre notre intervention et un marché, celui restreint des pilotes de chasse.

Toutefois, notre apport à l'ergonomie se situe sur le plan méthodologique en ayant démontré que la simulation sur support tangible statique pouvait être adaptée à l'analyse des usages prospectifs et à l'innovation dans des systèmes dynamiques. *Sola victoria pulchra !*

Bibliographie

- Amabile, T. M. (1983). *The social psychology of creativity*. New York: Springer.
- Amalberti, R. (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : PUF.
- Aoussat, A. (1990). *La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle*. (Thèse de doctorat, ENSAM, Paris, France).
- Arleo, A., & Rondi-Reig, L. (2007). Multimodal sensory integration and concurrent navigation strategies for spatial cognition in real and artificial organisms. *Journal of Integrative Neuroscience*, 6, 327–366.
- Barcellini, F. (2008). *Conception de l'artefact, conception du collectif : dynamique d'un processus de conception ouvert et continu dans une communauté de développement de logiciels libres*. (Thèse de doctorat, CNAM, Paris, France).
- Barcellini, F., Détienne, F., & Burkhardt, J.-M. (2008). User and developer mediation in an Open Source Software Community : boundary spanning through cross participation in online discussions. *International Journal of Human Computer Studies*, 66(7), 558-570.
- Barcellini, F., Van Belleghem, L., & Daniellou, F. (2013). Les projets de conception comme opportunité de développement des activités. Dans P. Falzon (Édit.), *Ergonomie constructive* (p. 191-206). Paris, France : PUF.
- Bastien, J. M. C., & Scapin, D. L. (1995). Evaluating a user interface with ergonomics criteria. *International Journal of Human Computer Interaction*, 7, 105-121.
- Béguin, P., & Weill-Fassina, A. (1997). *La simulation en ergonomie: connaître, agir et interagir*. Toulouse, France : Octarès.
- Bibauw, S., & Dufays, J.-L. (2013). Les pratiques d'écriture réflexive en contexte de formation générale. *Repères pédagogiques*, 2.
- Bisantz, A., & Vicente, K. (1994). Making the abstraction hierarchy concrete. *International Journal of Human-Computer Studies* 40, 83-117.
- Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité: de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. *Le Travail Humain*, 72(1), 5-22. doi :10.3917/th.721.0005
- Bourgy, M. (2012). *L'adaptation cognitive et l'improvisation dans les environnements dynamiques: pour une intégration de l'expérience sensible dans les modèles de l'activité experte*. (Thèse de doctorat, Université Paris VIII, Saint-Denis, France).

Bourmaud, G. (2007). L'organisation systémique des instruments : méthodes d'analyse, propriétés et perspectives de conception ouvertes, Communication présentée à ARCo, Nancy.

Brangier, E., & Robert J.-M. (2014). L'ergonomie prospective : fondements et enjeux. *Le Travail Humain*, 77, 1-20. doi: 10.3917/th.771.0001

Burkhardt, J.-M., & Détienne, F. (1995). An empirical study of software reuse by experts in objectoriented design. Dans K. Nordby, P. H. Helmersen, D. J. Gilmore & S. A. Arnesen (Édit.), *Proceedings of INTERACT'95* (p. 133–138). Londres, Angleterre: Chapman & Hall.

Cahour, B. (2002). Décalages socio-cognitifs en réunion de conception participative. *Le Travail Humain*, 65(4), 315-337.

Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris, France : PUF.

Détienne, F. (2006). Collaborative design : managing task interdependencies and multiple perspectives. *Interacting With Computers*, 18(1), 1-20.

Daniellou, F. (2004). L'ergonomie dans la conduite de projets de conception de systèmes de travail. Dans P. Falzon (Édit.), *Ergonomie*, (p. 359-373). Paris, France : PUF.

Daniellou, F. (2002). Le travail des prescriptions. Communication présentée au 36^{ème} congrès de la SELF, Montréal, Canada.

Daniellou, F. (1988). Ergonomie et démarche de conception dans les industries de processus continus. Quelques étapes clés. *Le Travail Humain*, 51 (2), 185-194.

Darses, F. (1994). *Gestion des contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. (Thèse de Doctorat, Université Paris VIII, Saint-Denis, France).

Darses, F., & Falzon, P. (1996). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. Dans G. de Terssac & E. Friedberg (Édit.). *Coopération et Conception* (p. 123-135). Toulouse : Octarès.

Darses, F. (2006). Analyse du processus d'argumentation dans une situation de reconception collective d'outillage. *Le Travail Humain*, 69(4), 317-348.

Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2004). Les activités de conception et leur assistance. Dans P. Falzon (Édit.), *Ergonomie* (p. 515-563). Paris, France: PUF.

Darses, F., & Wolff, M. (2006). How designers represent to themselves the users' needs ? *Applied Ergonomics*, 37, 757-764.

Dreyfus, H. L. (1979). *What computers can't do*. New-York: Harper and Row/ -, 1984, intelligence artificielle, mythes et limites (p. 357-358). Paris, France : Flammarion.

Dubey, G. (1997). Faire "comme si" n'est pas faire. Dans P. Béguin & A. Weill-Fassina (Édit.), *La simulation en ergonomie: connaître, agir et interagir* (p.39-53). Toulouse, France: Octarès.

Falzon, P. (2013). Pour une ergonomie constructive. Dans P. Falzon (Édit.) *Ergonomie constructive* (p. 1-15). Paris, France : PUF..

Guérin, C., Chauvin, C., Leroy, B., & Coppin, G. (2013). Analyse de la tâche d'un pilote de Rafale à l'aide d'une HTA étendue à la gestion des modes dégradés. Communication présentée à la 7^{ème} conférence Epique, Bruxelles, Belgique. (p.21-26).

Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444-454.

Hamayon, R. (2012). *Jouer. Une étude anthropologique*. Paris, France: La Découverte.

Hanington, B. (2003). Methods in the making: a perspective on the state of human research in design. *Design issues*, 19(4), 9-18.

Hauret, D. (2010). *L'autorité partagée pour mieux décider à bord du Rafale.*, Communication présentée à la 12^{ème} conférence internationale ERGO'IA 10, Bidart, France : ACM Press.

Hauret, D., Donnot, J., & Van Belleghem, L. (2016). Intégration de la simulation de l'activité sur support tangible dans le processus de conception de l'interface homme-système du Rafale. Communication présentée à ERGO'IA 16, Bidart, France : ACM Press.

Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Aldershot, Angleterre: Ashgate.

Jacobson, I. (1995) The use-case construct in object-oriented software engineering. Dans J.M.Carroll (Édit.), *Scenario-based design: Envisioning work and technology in system development*. (p. 309-336). New York : John Wiley & Sons.

Joas, H. (1999). *La créativité de l'agir*. Paris, France : Cerf.

Karsenty, L. (2000). Cooperative Work: The Role of Explanation in Creating a Shared Problem Representation. *Le Travail Humain*, 63(4), 289-309.

Klein, G. A. (1989). Recognition-primed decisions. Dans W. B. Rouse (Édit.), *Advances in man-machine systems research* (Vol. 5, p. 47–92). Greenwich, CT: JAI Press.

Leontiev, A. N. (1984). *Activité, conscience, personnalité* (G. Dupond, trad.). Moscou, Russie : Editions du Progrès.

Loup-Escande, E. (2010). Vers une conception centrée sur l'utilité: une analyse de la coconstruction participative et continue des besoins dans le contexte des technologies émergentes. (Thèse de doctorat, Université d'Angers, Angers, France).

Loup-Escande, E., Burkhardt, J.-M., & Richir, S. (2012). Anticiper et évaluer l'utilité dans la conception ergonomique des technologies émergentes : une revue. *Le Travail Humain*, 76, 27-55.

Lind, M. (1999). Making sense of the abstraction hierarchy. Communication présentée à CSAPC'99, Villeneuve d'Ascq, France.

Luhmann, N. (1968). Politics as a Social System. Dans N. Luhmann (Edit.), *The Differentiation of Society* (p. 122-65), New York, NY: Columbia University Press.

Maline, J. (1997). Simuler pour approcher la réalité des conditions de réalisation du travail: la gestion d'un paradoxe. Dans P. Béguin & A. Weill- Fassina (Édits.), *La simulation en ergonomie: connaître, agir et interagir* (p.97-111). Toulouse, France: Octarès.

Maline, J. (1994). *Simuler le travail : une aide à la conduite de projet*. Paris, France : Anact éditions.

Midler, C. (1993). *L'auto qui n'existait pas. Management des projets et transformation de l'entreprise*. Paris, France: Interéditions.

Mullen, B. Johnson, C., & Salas, E. (1991). Productivity loss in brainstorming groups: A meta-analytic integration. *Basic and Applied Social Psychology*, 12, 3-23.

Norman, D. A. (1993). Les artefacts cognitifs. Dans B. Conein, N. Dodier & L. Thévenot (Édit.), *Raisons pratiques n° 4. Les objets dans l'action* (p. 15-34), Paris, France : Éditions de l'EHESS.

Nelson, J. (2011). *Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets d'innovation*. (Thèse de doctorat, Arts & Métiers ParisTech, Paris, France).

Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. Dans J. Nielsen & R. L. Macks (Édit.), *Usability Inspection Methods*. New York, NY: John Wiley & Sons.

Ochanine, D. (1978). Le rôle des images opératives dans la régulation des activités de travail.

Psychologie et Education, 3, 63-65.

Osborn, A. F. (1957). *Applied Imagination*. New York, NY: Scribner.

Rabardel, P. (1995). *Les Hommes et les Technologies: approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, France : Armand Colin.

Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. New-York, NY : North Holland.

Rittel, H. (1972). On the Planning Crisis: Systems Analysis of the 'First and Second Generations. *Bedriftsokonomien*, 8, 390-396.

Robert, J.-M. & Brangier, E. (2012). Prospective ergonomics: origin, goal, and prospects. *Work*, 41, 5235-5242. doi: 10.3233/WOR-2012-0012-5235

Rogalski, J. (1997). Simulations: fonctionnalités ? validité ? Dans P. Béguin & A. Weill-Fassina (Édits.), *La simulation en ergonomie: connaître, agir et interagir* (p.55-76). Toulouse, France: Octarès.

Rudd, J., Stern, K., & Isensee, S. (1996). Low vs. high-fidelity prototyping debate. *Interactions*, 3(1), 76-85.

Samurçay, R., & Rogalski, J. (1998). Exploitation didactique des situations de simulation. *Le Travail Humain*, 61(4), 333-359.

Schön, D. A. (1996). *The reflexive practitioner. How professionals think in action*. Aldershot, UK: Arena.

Sternberg, R. J. (2006). The Nature of Creativity. *Creativity Research Journal*, 18, 87–98.

Sternberg, R. J. (1999). *Handbook of creativity*. New York, NY: Cambridge University Press.

Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1995). *Defying the crowd*. New York, NY: Free Press.

Theureau, J., & Pinsky, P. (1984). Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique. *Revue des Conditions de Travail*, 9, 25-31.

Torrance, E. P. (1966). *The Torrance Tests of Creative Thinking-Norms-Technical Manual Research Edition-Verbal Tests, Forms A and B-Figural Tests, Forms A and B*. Princeton, NJ: Personnel Press.

Van Belleghem, L. (2013). Réciprocité des enjeux de confiance au travail - Le cas des coursiers et de leur dispatcheur. Dans L. Karsenty (Édit.) *La confiance au travail* (p. 53-75). Toulouse, France : Octarès.

Van Belleghem L. (2012). Simulation organisationnelle : innovation ergonomique pour innovation sociale. Dans M.-F. Dessaigne, V. Pueyo & P. Béguin (Édit.), *Innovation et Travail : Sens et valeurs du changement. Actes du 42ème congrès de la SELF, Saint-Malo, France*.

Visser, W., & Bonnardel, N. (1989). Remarques ergonomiques sur l'activité de conception de structures composites: Incidents, erreurs et difficultés rencontrées. (Rapport du Projet de Psychologie Ergonomique). Rocquencourt : INRIA.

Visser, W. (1994). Organisation of design activities: Opportunistic, with hierarchical episodes. *Interacting with computers*, 6, 239-274.

Weber. M. (1965). L'objectivité de la connaissance dans les sciences et la politique sociales. Dans Essais sur la théorie de la science (p. 122). Paris, France : Plon.

Annexes

Annexe 1 Tâches d'intérêts dans l'activité du pilote de chasse

- ✓ **Effectuer le décollage/catapultage**
 - vérification des paramètres après la mise en route,
 - roulage,
 - prise en compte de la météorologie locale,
 - décollage,
 - insertion dans le trafic aérien.
- ✓ **Gérer la trajectoire à long terme**
 - surveillance (météo/relief/espace aérien/plan de vol/menace adverse) et calculs (temps/carburant) permettant d'anticiper pour atteindre un point géographique.
- ✓ **Gérer la trajectoire à court terme**

Déplacement de l'avion instantané visant à :

 - réaliser une tactique,
 - éviter une menace,
 - **DELIVRER DE L'ARMEMENT,**
 - maintenir la cohésion de la patrouille,
 - maintenir un espace réservé,
 - intégrer le relief et la météo,
 - ravitailler.
- ✓ **Assurer l'anti-abordage et l'anticollision**
- ✓ **Gérer les pannes**
 - ✓ parcourir les listes affichées,
 - ✓ hiérarchiser suivant l'urgence de la situation,
 - ✓ appliquer la procédure,
 - ✓ diagnostiquer l'état de l'avion.
- ✓ **Détecter/Identifier/classifier les cibles**
 - ✓ mise en œuvre des capteurs (optiques et électromagnétiques),
 - ✓ surveillance et analyse des détections,
 - ✓ sélection et traitement des données,
 - ✓ comparaison des informations aux règles d'engagement.
- ✓ **Interpréter les comportements adverses et amis**
- ✓ **Communiquer**
- ✓ **Effectuer l'atterrissage/appontage**
 - ✓ insertion dans le trafic d'aérodrome,
 - ✓ approche,
 - ✓ configuration de l'avion,
 - ✓ pilotage de la finale et toucher,
 - ✓ roulage.

Résumé

L'innovation pour un avion de chasse déjà en service nécessite toutes les précautions. Il s'agit de faire évoluer les usages sans porter atteinte à l'efficacité et à la sécurité du pilote de ce système dynamique à risque. Pour (re)concevoir l'interface du cockpit du Rafale afin d'anticiper l'intégration à l'avion d'un nouveau missile, l'ergonomie doit pouvoir répondre aux attentes des armées et de l'aviateur. Nos travaux s'inscrivent dans le champ de l'ergonomie prospective. Ils proposent une méthodologie exploratoire permettant d'envisager les usages futurs probables des pilotes utilisateurs que nous avons placés en situation de concepteurs. S'inspirant du paradigme méthodologique de la simulation de l'activité sur support tangible (Barcellini, Van Belleghem & Daniellou, 2013), notre méthodologie s'appuie sur un dispositif de simulation spécifiquement développé pour l'étude de ce système dynamique. Nous l'avons appelé DiSTASyD. Il permet de faire émerger de la part des pilotes sollicités un maximum de propositions innovantes que nous qualifions d'utiles en raison de l'environnement et l'équipe interdisciplinaire de co-construction créés et de la méthode de simulation réalisée. L'ensemble des idées créatives divergentes obtenues est ensuite traité par le modèle de la hiérarchie d'abstraction (Rasmussen, 1986) afin de les faire converger vers une solution innovante intégratrice d'un maximum d'idées exprimées par les pilotes. Nos résultats démontrent l'efficacité de cette méthodologie à la fois sur le plan de sa production effective, notamment sur l'accès facilité et spontané au niveau fonctionnel des propositions, que sur le plan de la qualité des solutions innovantes obtenues. Elles donnent satisfaction aux pilotes et à l'ensemble des protagonistes en raison d'une interface humain/machine véritablement adaptée à la réalisation de leur activité actuelle et future à bord du Rafale.

Mots clés : conception ; innovation ; simulation ; système dynamique ; usages ; prospective

Abstract

Innovation for a fighter aircraft already in use requires proceeding carefully. It is a question of developing the uses without striking a blow at the efficiency and at the safety of the pilot of this risky dynamic system. To update the human system interface (HSI) of the Rafale cockpit due to the integration of a new missile we need to anticipate. Ergonomics must be able to meet the expectations of forces and aircraft manufacturer. Our study joins the field of prospective ergonomics. We propose an exploratory methodology allowing figuring out the future uses of the front line pilots which we placed in designers' situation. Being inspired of methodological paradigm of the simulation of the activity on tangible device (Barcellini, Van Belleghem and Daniellou, 2013), our methodology is based on a device of simulation especially developed for this dynamic system study. We named it DiSTASyD. It allows figuring out from involved pilot a maximum of innovative proposals which we consider as useful because of the interdisciplinary team and the environment of co-construction created and because of the simulation protocol. The obtained divergent creative ideas are then handled by the model of hierarchy of abstraction (Rasmussen, 1986) to make them converge on an innovative solution integrating a maximum of ideas expressed by pilots. Our results demonstrate the efficiency of this methodology on one hand from the point of view of its process production, particularly on the spontaneous and easy access to the functional level of the proposals, and on the other hand from the point of view of the quality of the obtained innovative solution. They give satisfaction to the Rafale pilots and to all protagonists because of a human system interface really adapted to comply their current and future activity aboard Rafale fighter aircraft.

Keywords: design; innovation; simulation; dynamic system; uses; prospective