



# ÉVOLUTION DE MÉTIERS DE L'AÉRIEN DU FAIT DE LA CROISSANCE DE L'AUTONOMIE DES OPÉRATIONS



**Rapport de l'atelier du 6 décembre 2022**

*(Version définitive - 23 mars 2023)*



# **ÉVOLUTION DE MÉTIERS DE L'AÉRIEN DU FAIT DE LA CROISSANCE DE L'AUTONOMIE DES OPÉRATIONS**

**RAPPORT DE L'ATELIER DU 06/12/2022**

*(Version définitive - 23 mars 2023)*

# Table des matières

<b>CHAPITRE 1</b> .....	<b>4</b>
<b>Préambule</b> .....	<b>4</b>
(Rappel partiel du préambule du rapport précédent du 31/01/2022) .....	4
<b>CHAPITRE 2</b> .....	<b>6</b>
<b>Points marquants de l'ensemble de l'atelier</b> .....	<b>6</b>
Remarques générales initiales .....	6
Développement des systèmes.....	7
Les besoins / méthodes spécifiques des militaires .....	8
Spécificité des systèmes de gestion de la circulation aérienne .....	9
Spécificités des systèmes interpénétrés .....	10
<b>CHAPITRE 3</b> .....	<b>11</b>
<b>Résumé des présentations et des discussions d'introduction</b> .....	<b>11</b>
3.1 Jean-Michel Bigarré : La prise en compte des compétences des opérationnels en amont et pendant les développements .....	11
3.2 Lieutenant-Colonel Jérôme Ranc : Laboratoire FH tiers lieu au plus près des forces aériennes-Proof of concept & innovations.....	12
<b>CHAPITRE 4</b> .....	<b>16</b>
<b>Résumé des présentations et discussions sur les systèmes avions</b> .....	<b>16</b>
4.1 Présentation de Bernard Rontani : Exposé du processus de développement de systèmes complexes- ayant une possible forte interface avec l'humain- avions civils .....	16
4.2 Présentation de Guillaume Girard : Développements des systèmes pour les avions militaires : leurs spécificités par rapport au civil) .....	16
<b>CHAPITRE 5</b> .....	<b>21</b>
<b>Résumé des présentations et discussions de la session relative aux systèmes de gestion de la circulation aérienne</b> .....	<b>21</b>
5.1 Sylvie Figarol : Exposé du processus de développement des systèmes complexes du contrôle du trafic aérien civil (avec une possible forte interface avec l'humain).....	21
5.2 Questions posées par les participants à l'exposé de S.Figarol : .....	22
5.3 Geneviève Marquis : Développements des systèmes du contrôle du trafic aérien militaire : leurs spécificités.....	23
5.3 Marc Baumgartner : Compléments, remarques aux présentations précédentes .....	24
<b>CHAPITRE 6</b> .....	<b>28</b>
<b>Résumé des présentations et discussions de la session relative aux systèmes interpénétrés</b> .....	<b>28</b>
6.1 Christine Bailleul : Exposé sur le CDM (Collaborative Decision Making) .....	28
6.2 Luc Deneufchâtel : Peut-on tirer des leçons des difficultés et de la lenteur de la mise en œuvre du data-link ? .....	29
<b>Annexe 1</b> .....	<b>31</b>
<b>Réflexions relatives aux compétences</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexe 2</b> .....	<b>33</b>
<b>Tableau simplifié d'une vision d'ensemble des compétences requises</b> .....	<b>33</b>
<b>Annexe 3</b> .....	<b>35</b>
<b>Liste des participants à l'atelier AAE du 06 décembre 2022</b> .....	<b>35</b>
<b>Annexe 4</b> .....	<b>36</b>
<b>Photos des participants à l'atelier AAE du 06 décembre 2022</b> .....	<b>36</b>

# CHAPITRE 1

## *Préambule*

### **(Rappel partiel du préambule du rapport précédent du 31/01/2022)**

Pour les vols commerciaux l'Académie de l'Air et de l'Espace a publié plusieurs dossiers relatifs

- à la problématique des pilotes dans les situations critiques,
- aux perspectives d'automatisation et
- à l'avenir à long terme du transport aérien.

Les conditions du développement futur, sinon de la pérennité, du transport aérien sont marquées par la concomitance de trois phénomènes d'échelle planétaire, que sont :

- la prégnance des problématiques énergétique (raréfaction de la ressource en kérosène d'origine fossile) et écologique,
- la perte d'un statut d'exception, l'intégration dans le monde économique global, la soumission au droit commun,
- la généralisation progressive de la numérisation de ses activités, grâce à la puissance des machines à intelligence augmentée avec leur capacité de stockage et le traitement des données, aux interconnexions, avec leurs applications à l'automatisation toujours plus poussée du vol (vers l'autonomie) ainsi que grâce à l'organisation du système, dont sa régulation.

En conséquence on peut anticiper que le secteur du transport aérien verra nécessairement les métiers, et donc les compétences de ses acteurs, évoluer, se transformer, se réorganiser. Voir en annexe 1 des considérations sur la définition de compétences<sup>1</sup>.

La Commission Aéronautique Civile (CAC) de l'Académie a entrepris une réflexion sur cette perspective en prenant le développement poussé de l'automatisation comme facteur significatif des évolutions.

Elle a choisi de réunir en priorité les acteurs situés en première ligne de cette activité économique avec la volonté de faire émerger les possibles évolutions.

Trois sessions volontairement centrées sur les métiers impliqués dans les activités opérationnelles directes (les pilotes, le management du trafic aérien et le management des vols d'une compagnie aérienne) ont été organisées les 21/10/2021 et 09/11/2021. Un rapport correspondant, daté du 31/01/2022, a été produit.

Le 06/12/2022 un nouvel atelier a été organisé<sup>2</sup>, destiné à explorer les évolutions

---

<sup>1</sup> Suite à l'atelier du 6 décembre 2022 ces considérations ont été complétées par **la capacité à faire travailler des équipes multidisciplinaires, très évolutives pendant la vie des produits.**

<sup>2</sup> Un courriel d'annonce a été envoyé le 27 juillet 2022 aux participants des ateliers de 2021, contenant des réflexions préliminaires sur ces sujets.

des compétences de l'ingénierie de développement des systèmes avions, d'une part, et des systèmes du management du trafic aérien, d'autre part. En outre une réflexion se voulait orientée vers les conséquences de l'imbrication de plus en plus poussée des systèmes du secteur du transport aérien.

L'accent était mis sur l'apport pouvant résulter de la comparaison des pratiques des systèmes des applications civiles avec celles des systèmes des applications militaires.

Voici des données utiles :

- Le lien suivant donne accès à l'agenda et aux diverses présentations :  
[https://acadairespace-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/arnaud\\_ribes\\_acadairespace\\_onmicrosoft\\_com/EkN6zXvRNYFMtI806SNSsDwBvI16GZvTM6YRzBXABaRVWA?e=nLYain](https://acadairespace-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/arnaud_ribes_acadairespace_onmicrosoft_com/EkN6zXvRNYFMtI806SNSsDwBvI16GZvTM6YRzBXABaRVWA?e=nLYain)
- L'annexe 2 donne un tableau simplifié d'une vision d'ensemble des compétences requises pour les métiers considérés. (Note : il sera mis à jour suite aux acquis résultant des ateliers)
- L'annexe 3 identifie les participants à l'atelier
- L'annexe 4 montre des photos des présents aux travaux du 06 Décembre 2022

# CHAPITRE 2

## *Points marquants de l'ensemble de l'atelier*

### Remarques générales initiales

- Impression générale : on a à peu près tout pour bien fonctionner, mais il reste encore à mieux organiser **l'interdépendance des éléments existants. En particulier il conviendrait de considérer l'Humain comme un système à part entière à intégrer.**
- **En ingénierie l'efficacité est fonction à la fois des compétences individuelles mais également de l'organisation de la coopération entre les différents métiers.**
- Dans l'ingénierie des systèmes les compétences de base des opérationnels doivent être intégrées dès leur stade initial de conception et pendant leur développement. **Pour cela des experts ad hoc sont nécessaires car l'expérience est difficile à transmettre par écrit.** Se reporter au § « Réflexions entraînées par cet exposé » de JM Bigarré, page 7.
- Outre les industriels maîtres d'œuvre les acteurs suivants doivent être impliqués tout au long des développements :
  - Les opérateurs finaux des compagnies aériennes, armées de l'air, services de la navigation aérienne que sont les pilotes, dispatchers, contrôleurs de la circulation aérienne, ...etc. Et ce au niveau typique des compétences de ces métiers,
  - les sous-traitants, jusqu'au niveau des exécutants, et enfin,
  - les autorités de certification.
- L'ingénierie et les opérationnels (pilotes et contrôleurs) doivent travailler de manière rapprochée pour **résoudre avec des réponses (actions) simples** pour les problèmes opérationnels survenant dans les phases très dynamiques.
- **Un problème majeur permanent est le traitement des inattendus.** Ainsi faudrait-il :
  - tenir compte des imprévus, ( cas non pris en compte pendant les développements),
  - ainsi que des écarts et perturbations importants, même si pris en compte, mais pouvant surprendre par leurs niveaux et à l'instant de leur occurrence (« startle effect »).
- Les évolutions en ingénierie introduisent une difficulté supplémentaire par le « turn-over » des acteurs et des responsables. **Il faut maintenir une intelligence collective**, voire la renforcer. Ainsi a-t-il été relevé que les

cycles de développement, déploiement (SCAF, ATM par exemple) sont d'un ordre de grandeur plus élevé que les évolutions de la technologie : c'est un défi pour définir les compétences à acquérir en formation initiale ; **Une bonne formation continue est indispensable.**

## Développement des systèmes

- Les futures compétences en ingénierie des systèmes aéronautiques tant à bord qu'au sol sont fortement liées au processus de développement de ces systèmes et de la répartition des tâches entre les différents acteurs. Il convient de considérer leurs chevauchements ou complémentarités.
- Les développements des systèmes commencent par des études préliminaires basées sur les technologies et méthodes suffisamment matures et se poursuivent par un cycle en V ou W, avec les validations, essais au sol, en vol et certification, jusqu'à la mise en œuvre chez les clients.
- Evolutions en cours de ce processus à maîtriser :
  - **Prise en compte des opérateurs dès les phases amont avec une approche du type science cognitive,**
  - Multi et interdisciplinarité,
  - Importance des données (datas) de référence et leurs évolutions,
  - Les Systèmes devront être plus évolutifs et pour cela les méthodes agiles permettront d'accélérer les évolutions,
  - Importance de la modélisation / simulation de plus en plus intégrées (jumeau numérique),
  - Croissance de l'IA lors du développement de systèmes (voire incluse dans leur fonctionnement),
  - La place prise par la minimisation des effets sur l'**Environnement** dans le développement, la production (et le démantèlement), et les opérations des systèmes (cycle de vie).
- Pour les données (data) et de leur traitement, des compétences « spécifiques » sont nécessaires pour couvrir :
  - leur collecte,
  - leur traitement,
  - la capacité à quantifier les données aéronautiques machines ou humain et
  - la capacité à interpréter les phénomènes physiques sous-jacents (causalité vs. corrélation).  
(Elles ne sont pas que celles de matheux statisticiens, même s'il en faut).
- Considérant les différentes capacités fonctionnelles des humains, et les problématiques, générales de l'IHS, les solutions développées doivent prendre en compte **les diverses origines socio-culturelles des acteurs**



ainsi que les multiples situations opérationnelles auxquelles ils seront confrontés : les développeurs doivent acquérir les connaissances correspondantes dans le domaine des sciences humaines et cognitives.

- Prendre en compte la cybersécurité, préoccupation de tous les instants et domaine de techniques spécifiques,
- Prendre en compte les nouvelles procédures opérationnelles pour lesquelles de nouvelles expertises seront nécessaires.

### Les besoins / méthodes spécifiques des militaires

- Remarque : Comparativement au civil le nombre d'acteurs est plus faible pour le domaine militaire et il existe des donneurs d'ordre directs ce qui facilite la maîtrise des besoins exprimés.
- Pour la définition des exigences des systèmes d'arme les militaires (le CEAM-Centre d'Expertise Aérienne Militaire- dans notre cas) font **des études amont poussées avec des moyens de simulation de multiples scénarios impliquant beaucoup d'opérationnels et avec une approche scientifique orientée sciences cognitives**. Les expressions de besoin en résultant sont transmis à la DGA qui rédige les spécifications des systèmes à l'attention des industriels contractants.
- Avant le démarrage des développements les industriels font de leurs côtés des simulations similaires qui peuvent influencer les spécifications correspondantes.
- Organisation de séances, en commun, d'évaluation/validation en simulation, dont le principe est d'instituer des échanges réguliers pour accompagner le développement itératif des systèmes d'armes qui tient compte des futurs usages et ce avec les futurs usagers opérationnels de « terrain ».
- Les systèmes doivent être capables d'évolutions pour prendre en compte de l'évolution des besoins et des technologies dans le temps. On recherche l'« agilité » des équipes de conception et développement.
- Les objectifs de sécurité demandés par le client, sont de nature différente de ceux des civils car surtout liés à la prise de risque face à un adversaire, consubstantielle de la guerre.
- L'IA (Intelligence Artificielle) est progressivement introduite sans mettre l'opérationnel en dehors de la boucle de décision. Mais son « action » pourrait devenir de plus en plus présente afin de permettre à l'opérationnel de se consacrer à ses tâches primordiales.
- Il est nécessaire que chaque système fonctionne en mode coopératif ou

en mode autonome et maintienne un bon niveau de performance en mode dégradé, en toutes circonstances face à tous les modes d'actions ennemis.

- Il existe peu d'autonomie réelle encore. Néanmoins de nombreuses investigations sont en cours car le drone est devenu central dans les conflits de haute intensité (cf. Ukraine).
- Il devrait être possible (aux restrictions près dues au secret militaire) de disposer à terme d'une expérience en opérations militaires utilisable pour une éventuelle application civile.

### **Spécificité des systèmes de gestion de la circulation aérienne**

- Avancée difficile du fait du nombre important de parties prenantes.
- **Pour ces systèmes les évolutions sont permanentes mais en cas de changement d'architecture elles sont très longues : plus de 10 ans !**
- Grande fragmentation des systèmes, ensemble de prototypes.
- **Pour tout nouveau programme la transition est réfléchie dès la conception.**
- Les exigences opérationnelles sont présentées sous forme de scénarios.
- Obligation de consensus dans les collaborations.
- L'introduction d'une nouvelle fonctionnalité prend énormément de temps pour que chacun des acteurs (ce sont tous des entités commerciales) débouche financièrement sur un Business Plan rentable, à défaut attractif.
- Pour ces nombreuses applications CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management), une des problématiques est que ce ne sont pas ceux qui investissent en premier qui en tirent les bénéfices, d'où une réticence certaine des directions financières.
- La sécurité des logiciels et l'intégrité des informations n'ont été qu'évoquées. **La fonction de validateur est renforcée.**
- Le concept « Collaborative decision making » est obligatoire dans toute imbrication de systèmes avec partage permanent des informations. Exemple : optimisation des séquences de départ des aéroports.
- Recherche permanente de synergies avec le travail en commun et compromis nécessaire entre besoins et solutions possibles.
- La montée des compétences est commune, assure la cohérence de l'ensemble, se fait pas à pas grâce à la formation.
- La gestion proposée de plusieurs tours de contrôle en distanciel (en déporté ou « remote tower ») amène des problèmes cognitifs.
- Le développement du Data-link est compliqué car il met en jeu des acteurs de télécommunication qui ne sont pas directement du domaine aéronautique.
- La notion de « data-link » doit être étendue à la connectivité globale au-

delà des informations basiques de la première version « DL ».

- Une fois que ces différents acteurs sont convaincus du bien-fondé de cette nouvelle application sol/bord, des délais supplémentaires surviennent pour développer, certifier et déployer la situation au niveau de chacun des acteurs. D'où des délais à caractère « prohibitif ».

### Spécificités des systèmes interpénétrés

- **Le domaine du transport aérien est composé de divers acteurs tous financièrement indépendants et en général en concurrence** comme les multiples compagnies aériennes, multiples ANSPs (Air Navigation Service Providers). Au-delà de l'aspect safety « l'interopérabilité » entre ces différents acteurs est un élément essentiel de l'aviation de Transport : un avion d'un quelconque pays, d'une quelconque compagnie, peut voler indifféremment sous le contrôle de plusieurs ANSPs et se poser sur différents aéroports. C'est une dimension essentielle à considérer pour les systèmes interpénétrés mettant en jeu des acteurs du bord et du sol.
- **Le système data-link**, typiquement interpénétré, a du mal à se déployer et à devenir le système standard. Quels sont les facteurs bloquants ? : Délais et coûts très optimistes, qui décrédibilisent les capacités des systèmes déployés. **Il faudrait subventionner en priorité le déploiement de l'infrastructure. Problème de pilotage du déploiement : la mise en place d'un CNS Program Manager pour l'UE (Union Européenne) est recommandée.**
- Au-delà des compétences croisées nécessaires à leurs mises en œuvre les points ci-dessus illustrent bien les difficultés de déploiement de tels systèmes et des leçons sont à en tirer.

# CHAPITRE 3

## Résumé des présentations et des discussions d'introduction

### 3.1 Jean-Michel Bigarré : La prise en compte des compétences des opérationnels en amont et pendant les développements

#### Résumé et réflexions correspondants :

- Les compétences s'estiment par des mesures de performances.
- Ces performances, donc les compétences associées, dépendent de la combinaison de nombreux paramètres comme les :
  - Environnement opérationnel,
  - Savoir-faire de base,
  - Formation,
  - Expérience,
  - Etc...

En conséquence dans une même situation deux individus peuvent montrer des compétences différentes.

- Dans l'aide à la conception de systèmes quels doivent être les experts opérationnels ? :
  - Les pilotes d'essais sont techniquement compétents et peuvent partiellement représenter les pilotes lambda,
  - Les pilotes représentant les clients appartiennent à une hiérarchie pas forcément orientée vers les détails opérationnels,
  - Dans les faits, les mieux placés en matière d'adaptation humaine opérationnelle sont les instructeurs pilotes (je partage cette opinion par expérience, d'où l'importance d'inclure les centres de formation dans la conception des systèmes).
- L'OACI et les formateurs constructeurs et compagnies ont défini des grilles de compétences élémentaires (en fait des performances) à noter en formation. Ce suivi personnel permet de déceler les points faibles individuels à conforter (opinion personnelle : la pratique de cette procédure, bonne en elle-même, peut conduire à une focalisation analytique sur les détails amenant la perte de vision synthétique de la compétence globale de l'individu ; tout repose sur le savoir-faire de l'instructeur. Le problème est déplacé sans être résolu).
- L'expérience opérationnelle ne peut pas être totalement traduite par écrit.
- De même les procédures opérationnelles sont des résumés d'actions sous-tendant un savoir-faire de base indispensable, l'« airmanship » (définition difficile...).

#### Réflexions entraînées par cet exposé :

Pour les questions opérationnelles on revient en permanence dans l'atelier sur

l'aptitude humaine individuelle de base qui présente certaines caractéristiques dans chaque catégorie professionnelle :

1. Une homogénéité spécifique caractérisant la profession, commune à tous les individus, dont on définit l'ensemble des compétences nécessaires et sur lesquelles on base la conception des systèmes opérationnels, des automatismes ;
2. Chez chaque individu des déficiences personnelles dans l'application de ces compétences variant suivant :
  - o ses aptitudes individuelles (importance de la sélection),
  - o sa formation de base,
  - o son expérience.
3. Avec pour les opérationnels, comme complément aux particularités du paragraphe précédent mais nécessitant une attention spéciale car source principale d'accidents, **la résistance au stress causé par l'environnement ou la panne, associée au jugement correct des situations inattendues.**

Dans la pratique on corrige les déficiences opérationnelles individuelles par associations assurant complémentarité et surtout redondance (oubliée fréquemment en HSI-Human System Integration) grâce aux :

- o Equipage à deux,
- o Automatismes,
- o Plateaux de conception de systèmes,
- o Experts opérationnels et utilisation de la simulation.

La conception des systèmes est impliquée directement dans les points 1 et 3.

On voit combien la « compétence » des systèmes est étroitement liée à la formation individuelle et collective.

### **3.2 Lieutenant-Colonel Jérôme Ranc : Laboratoire FH tiers lieu au plus près des forces aériennes-Proof of concept & innovations**

- Le CEAM fait des études amont pour la définition des exigences des systèmes d'arme. Cependant l'approche semble être essentiellement nationale et il n'est pas expliqué comment elle peut être rendue compatible d'un programme en coopération européenne et de la structure des contrats de développement. Par ailleurs, l'implication des industriels susceptibles d'être les responsables du développement dans ces travaux paraît faible, pour l'instant, mais il est anticipé de le faire ultérieurement en mode partenarial (GP SCAF FRA en définira les modalités).
- A noter cependant que les principaux acteurs sont partenaires du laboratoire "Human Factors Air Operations Lab" (THALES, MBDA et très bientôt DASSAULT Aviation), sous convention spécifique individuelle avec l'Armée de l'Air et de l'Espace.

- Le développement d'un système d'arme moderne apparaît typiquement comme un développement de système de systèmes, particulièrement complexe. (En cours de changement avec des propositions concrètes et des projets déjà engagés et effectifs de la part du laboratoire FH-CEAM. Néanmoins c'est un changement de paradigme à effectuer et la transition de tous les protagonistes n'est pas encore assurée).
- Il apparaît les aspects suivants :
  - Confrontation des innovations aux usages,
  - Que garder dans l'évolution des compétences nécessaires ?
  - Contrairement au civil où la mission est définie et constitue la base de la conception des systèmes, les militaires nécessitent des compétences pour traiter ce qui sera inattendu et se trouvera en dehors du cadre retenu.
  - Note : Cela fait partie des investigations en cours qui vont accompagner les nouvelles technologies et leurs usages. C'est une approche scientifique anthropocentrée et usagers- centrée qui, au travers des modélisations, va permettre d'anticiper la transformation des compétences et des modalités de recrutement, formations, entraînements... (C'est également le rôle proposé du laboratoire Facteurs Humains du CEAM).
  - Missions militaires au sein d'un « écosystème » Pilote / recherche scientifique / industrie : une approche scientifique prospective, orientée sciences cognitives, dans un modèle d'innovation centré usager, au sein d'un laboratoire opérationnel dans un écosystème ouvert de type tiers lieu.
  - Evaluation humaine à chaque pas d'une étude, d'une expérimentation. Utilisation de la simulation.
  - Nécessité de faire face à l'imprévu de la mission face à une stratégie adverse et à une surprise stratégique.
  - Avion du futur : estimation sur 20 ans avec menaces émergentes (SCAF-Système de Combat aérien du Futur). 2 niveaux à considérer : théâtre et tactique.
  - Système de systèmes, combat-cloud, MMT (Man Machine Teaming), utilisation progressive de l'IA.
  - Impératif coopératif avec équilibre entre intégration et autonomie.
  - Méthodes de travail :
    - Utilisation de scénarios,
    - Partir de la phase finale du combat pour remonter vers la conception amont,
    - Plateformes de travail diverses. Simplifier pour utiliser l'humain,
    - Etudes simultanées de plusieurs « boucles » : pannes, anticollisions, cibles, attaques, etc.
    - Note : Du fait de la complexité de ce futur système de systèmes

SCAF c'est via une approche itérative par « proof of concept » (et une représentativité évolutive au fur et à mesure de la définition du programme et des technos afférentes) qui va permettre de découvrir, définir, d'évaluer, développer et modeler l'implémentation de technologies disruptives, leurs nouveaux usages, la collaboration de l'humain / machine dotés d'IA dans un système de systèmes sociotechniques complexe et démontrer leur adéquation opérationnelle future.

- Impératifs de survivabilité et de possibilité de reprise en main,
- De nombreuses couches système se déclinant selon l'organisation de la force armée,
- Dans chaque couche, des systèmes d'armes qui doivent coopérer,
- Des besoins de gestion, synthèse, échanges d'information entre les couches et les systèmes : c'est le principe du « All Domain Ops » et du « Mosaic Warfare »,
- La nécessité pour chaque système de fonctionner en mode coopératif et en mode autonome et de maintenir un bon niveau de performance en modes dégradés,
- La complexité des situations à gérer par l'utilisateur impose de recourir à l'intelligence artificielle et à la coopération entre pilote et systèmes.

En outre :

- Systèmes conçus pour être utilisés par des humains ;
- Très difficile d'explicitier le détail de l'implication humaine : aussi utilisation croisée de modélisations avec spécifications par l'usage : la modélisation et la simulation de mission réelle actuelle et prospective permettent de développer par la connaissance de l'activité opérationnelle actuelle, la cohérence de l'activité future, transformée par ces nouvelles technologies qui sont nécessaire pour faire face à l'infobésité du futur combat collaboratif ;
- Processus de conception : scénarios d'origine militaire / exploitation par DGA / industriel, puis chemin inverse avec simulation et partage de jeux (sets) de données caractérisées correspondant aux simulations & modélisations ;
- Travail entre partenaires par échanges de « briques » plutôt que débiter avec un environnement global. In fine la synthèse est faite par entre l'industriel, la DGA et le CEAM (possiblement au fur et à mesure de l'avancée du programme par « benchmarking » relatifs aux IA développées) ;
- Il y a utilisation de référentiels différents avec base commune ;
- Des fonctions nouvelles émergent. Des compromis sont nécessaires ;
- Utilisation de modélisations pour les performances individuelles et le travail en équipe : c'est en cela que l'approche scientifique orientée

sciences cognitives avec l'opérationnel est essentielle pour préparer le futur système de systèmes d'armes.

- A noter l'existence du projet d'innovation en cours sur l'Analyse Systémique de la Collaboration au sein d'« Opération Aérienne ».



# CHAPITRE 4

## **Résumé des présentations et discussions sur les systèmes avions**

### **4.1 Présentation de Bernard Rontani : Exposé du processus de développement de systèmes complexes- ayant une possible forte interface avec l'humain-avions civils**

L'exposé présente les conditions essentielles pour réaliser avec succès le développement des systèmes embarqués dans le domaine de l'aviation civile.

La nature des compétences requises implique que des parcours formants spécifiques pour les acteurs clés que sont les architectes, les experts et les chefs de projet soient mis en place au sein de l'entreprise.

Ces formations, sur plusieurs années, permettent aux architectes d'acquérir la vision globale des produits, aux experts de maîtriser les différents aspects de leur domaine, aux chefs de projets de maîtriser des projets de plus en plus vastes et complexes.

Les différentes phases de développement des systèmes font appel à des types de compétences et des tailles d'équipes différentes mais qui exigent toujours une grande cohérence technique, calendaire, logique et méthodologique.

L'organisation et l'installation matérielle des équipes doivent favoriser cette cohérence.

Pour chacune des phases (définition en amont, développement et réalisation, puis essais) la nature des activités et les principales compétences correspondantes sont présentées.

Par ailleurs dans les domaines systèmes, l'évolution technique/technologique est permanente et parfois disruptive. Elle concerne les composants du système, les méthodes et outils de développement et les essais.

**Les connaissances et compétences correspondantes doivent être renforcées dans des domaines tels que les « data », l'intelligence artificielle, la cybersécurité, les facteurs humains, l'énergie électrique et l'électronique de puissance pour ne citer que les principaux.**

### **4.2 Présentation de Guillaume Girard : Développements des systèmes pour les avions militaires : leurs spécificités par rapport au civil)**

Après avoir souligné la continuité du besoin et la filiation avec le programme Rafale, Guillaume Girard met en lumière les nouvelles menaces qui font évoluer la conception du système vers une structure de système de systèmes et qui doit

prendre en compte un environnement de combat collaboratif, multi domaines et multi acteurs.

En plus des exigences concernant les caractéristiques militaires (notamment survivabilité et armement) il faut prendre en compte celles de collaboration homme/machine et d'évolutivité de l'avionique.

Pour maintenir une charge de travail équipage acceptable, la complexité de la mission exige une optimisation poussée de l'IHM et une automation accrue qui concentre l'équipage sur les tâches de haut niveau tout en lui préservant une capacité d'intervention à tous les niveaux.

Ceci conduit à la mise en place d'une approche système de systèmes pour l'allocation correcte des exigences, au développement d'une base de données partagée entre les acteurs (combat cloud), à la collaboration équipage/système et recours à l'intelligence artificielle tout en préservant la responsabilité de la chaîne de commandement.

#### **4.3 Séance de questions / réponses :**

Elle a fait apparaître la nécessité d'un travail collaboratif entre la DGA et l'industriel. Les spécifications de concept découlent de l'usage envisagé. Pour cela un écosystème interopérable (Pilote / recherche scientifique / industrie) pour définir les missions militaires est en cours de construction, pour estimer sur 20 ans les menaces émergentes aux niveaux théâtre et tactique. Toutefois le besoin de partage entre les acteurs doit prendre en compte les contraintes de confidentialité.

L'accent a été porté sur les bouclages nécessaires entre les études de définition du besoin opérationnel du CEAM et l'industriel pour traiter tous les aspects collaboratifs qui ne peuvent pas l'être sans adapter la méthodologie du V classique pour permettre des rebouclages entre phases.

Contrairement au civil où la mission est définie et constitue la base de la conception des systèmes, les militaires doivent se préparer à traiter ce qui sera inattendu et se trouvera en dehors du cadre retenu.

Au niveau des phases d'étude amont et de capture des exigences, ces rebouclages sont mis en œuvre par le CEAM et Dassault via l'échange de scénarios de simulation opérationnelle (usage) et leurs données pour définir ce qui est attendu de l'industriel, à qui les scénarios et les données de projection de domaine et d'usage sont fournis formellement par la DGA.

Toutefois les environnements de simulation ne sont pas fusionnés, seules des briques sont communes à la DGA et à l'industriel afin de pouvoir se partager les résultats.

Dans le cas de programmes en coopération internationale les scénarios

d'usage doivent être harmonisés entre les différents pays par le maître d'ouvrage.

Ces rebouclages ont un impact sur les bases de réception qui sont évolutives et cet aspect doit être pris en compte dans le contrat par la DGA. La performance spécifiée dans le passé essentiellement basée sur des performances de fonctions évolue vers une performance opérationnelle globale incluant les aspects facteurs humains et IHM.

L'équivalent du CEAM pour la définition du besoin n'existe pas en construction aéronautique civile, mais les scénarios sont moins complexes, mieux connus et moins évolutifs et la capture des exigences doit se faire avec les pilotes des compagnies aériennes, **en prenant soin de disposer d'un échantillon suffisant de niveaux d'expérience et de cultures techniques.** L'IHM est vérifiée dans le cadre de la certification où les pilotes de l'organisme de certification vérifient que la charge de travail de l'équipage, en particulier dans les situations de panne, est gérable par un pilote qualifié.

Il existe un cas dans le domaine civil où des scénarios de simulation sont échangés entre acteurs : il s'agit de ceux qui concernent les échanges entre l'avion et le contrôle aérien et qui influencent la conception de l'ATM et celle du système avion.

Un aspect important concerne le rapport entre performance et sécurité. Dans le domaine civil, la sécurité prime et il n'est pas question de faire des échanges entre performance et sécurité d'un système. Dans le domaine militaire, la situation est différente car la performance peut avoir des conséquences sur la sécurité puisqu'elle peut déterminer la « capacité » à rester en vie en environnement hostile ou la capacité à faire ou non une mission fondamentale pour la sécurité/survie d'un élément de la force armée.

Guy Boy fait remarquer que le terme système ne s'applique pas uniquement à une machine ayant des entrées et des sorties, mais également à un ensemble de machines et d'humains coopérant pour la réalisation de missions – nous parlons généralement de systèmes sociotechniques ou de systèmes humains-machines. Un ingénieur en chef met en œuvre un système humains-machines (l'équipe projet avec tous les outils techniques nécessaires) pour obtenir la réalisation des objectifs techniques du projet ; la fonction d'ingénieur en chef nécessite donc des compétences autres que techniques. Parmi celles-ci, la capacité à gérer les imprévus est importante pour faire face à l'écart courant entre la théorie et la réalité.

Il a été relevé que pour la confrontation des innovations techniques aux usages, les cycles de développement-déploiement sont un ordre de grandeur plus élevé que les évolutions de la technologie. C'est un défi pour définir les compétences à acquérir en formation initiale ;

Réflexions en prolongement de la session sur SCAF :

Bien qu'il n'y ait sur le fond pas de différence fondamentale sur la nature des travaux de développement entre un système civil et un système militaire, on note des écarts importants au niveau de la complexité et de la stabilité dans le temps des missions (réalisées dans un environnement fortement multi-domaine et multi-acteurs pour les missions militaires).

Il y a en effet une différence profonde sur la stabilité dans le temps des missions entre civil et militaire.

Le système civil une fois certifié, sous réserve de contrôles, voire perfectionnements et qualifications, passe essentiellement son temps en « opérations » jusqu'à un âge relativement avancé.

Le militaire passe son temps à acquérir des qualifications croissantes au travers d'exercices, formations, simulations. Les systèmes sont en perpétuelle évolutions pour s'adapter le plus possible aux futures menaces et changement de l'environnement de combat.

Par ailleurs, le domaine du transport aérien est composé de multiples acteurs tous financièrement indépendants et en général en concurrence : multiples compagnies aériennes, multiples ANSPs, alors que pour le domaine militaire le nombre d'acteurs est nettement plus faible et sont pilotés par des donneurs d'ordre.

L'optimisation poussée pour le besoin d'un client donné, peut conduire à la difficulté de revendre le système à un autre client ayant une philosophie d'emploi différente et à la nécessité de modifications pour satisfaire le besoin de cet autre client. Cette difficulté peut être aggravée par les problèmes de confidentialité propre au domaine militaire.

Cette situation aboutit au fait que le système ne peut plus être spécifié de façon littérale et que le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre sont contraints à coopérer dans les phases amont de définition (concept d'emploi opérationnel, simulations opérationnelles, simulations fonctionnelles amont) avec échanges des simulations et de leurs données associées.

Une autre conséquence est l'implication programme (et direction achats) nécessaire pour gérer les évolutions tardives de spécification et leurs conséquences contractuelles (sans oublier les effets sur les conditions de réception du système).

**Le chef de projet doit gérer des organisations humaines de plus en plus complexes qui s'étendent au-delà du périmètre de son entreprise et donc il faut que sa formation le prépare en lui permettant d'acquérir les compétences autres que les techniques, nécessaires.**

Le développement d'un système d'armes moderne apparaît typiquement comme un développement de système de systèmes particulièrement complexe avec :

- De nombreuses couches système se déclinant selon l'organisation de la force armée ;
- Dans chaque couche, des systèmes d'arme qui doivent coopérer ;
- Des besoins de gestion, synthèse, échanges d'information entre les couches et les systèmes ;
- La nécessité pour chaque système de fonctionner en mode coopératif et en mode autonome et de maintenir un bon niveau de performance en modes dégradés ;
- La complexité des situations à gérer par l'utilisateur peut imposer de recourir à l'intelligence artificielle et à la coopération entre pilote et systèmes.

D'importants efforts sont consentis par tous les pays sur une automatisation plus importante voire une certaine autonomisation de divers drones sur le champ de bataille (Retour d'expérience Ukraine).

Ceci explique l'avance du domaine militaire dans le recours à l'intelligence artificielle malgré la difficulté de démonstration de sa sécurité \*. Cette avance peut constituer une opportunité pour le domaine civil qui pourra (sauf problème de confidentialité) bénéficier du retour d'expérience du domaine militaire (aspect des technologies duales de la BITD- Base industrielle et technologique de défense).

\*Note : L'effervescence de technologies de rupture, telles que l'aide cognitive au travers d'intelligence artificielle (IA), oblige à en capter le potentiel et à en contrer les menaces qu'elles représentent si elles sont maîtrisées par les adversaires ou compétiteurs.

# CHAPITRE 5

## **Résumé des présentations et discussions de la session relative aux systèmes de gestion de la circulation aérienne**

### **5.1 Sylvie Figarol : Exposé du processus de développement des systèmes complexes du contrôle du trafic aérien civil (avec une possible forte interface avec l'humain)**

En introduction : une belle photo d'une Unité de Contrôle d'Espace 4Flight dans la salle de contrôle du CRNA/SE (Centre en Route de Navigation Aérienne/ Sud-Est) à Aix en Provence. Pour ceux qui ne sont pas habitués à ces systèmes, le principal changement à noter est l'absence de « strips » papiers qui permettaient aux contrôleurs de suivre la progression des vols dans leur secteur, depuis des années. Mais il y a bien entendu beaucoup d'autres changements (sous le capot) qui ne sont pas visibles sur la photo et qui visent à améliorer l'assistance automatisée aux contrôleurs. Sans oublier la mise en place du data-link, avec un certain retard par rapport à la date objectif fixée par la Commission européenne. A noter : la date de mise en service opérationnel de 4Flight à Aix : le 6 décembre 2022 (jour du présent atelier).

Les points importants :

- Intégration du nouveau système dans un environnement existant (radars, réseaux, communications téléphoniques et radio, énergie), grande variabilité des situations à gérer, besoin insaisissable, évolutivité des besoins, critères d'acceptation multiples ;
- La multiplicité des parties-prenantes : gestion de projet, industriel, site opérationnel (contrôleurs, paramétrage, maintenance, formation), concepteurs, évaluateurs, certificateurs ;
- L'importance de la collaboration des développeurs et des contrôleurs ;
- Les synergies entre les compétences des acteurs tout au long du processus de développement ce qui entraîne de nombreuses interactions ;
- Montée en compétences ensemble des parties prenantes : du niveau débutant (4flight pour les nuls) au niveau expert ;
- L'importance de la formation et de la gestion de la transition prise en compte dès le début ;
- La place des équipes intégrées ;
- Le rôle d'un développement incrémental avec des évaluations sur site ;
- Les difficultés à gérer le turn-over des participants dans un projet de longue durée tant coté développeur que contrôleur sans remettre en cause les décisions ;
- La nécessité de mettre en place et maintenir une « intelligence collective » dans une co-construction, avec la non-remise en cause des

arbitrages et des décisions.

## 5.2 Questions posées par les participants à l'exposé de S.Figarol :

- Dominique Colin de Verdière (DCDV) : nombre de contrôleurs ayant participé au projet ?

Réponse (R) : Par centre 30 contrôleurs plus 20 pour la formation et 50 pour les évaluations.

- P. Andribet (PA) : co-développement des compétences : jusqu'à quel niveau ?

R : Les développeurs sont amenés à travailler sur le site pour la mise au point et le paramétrage.

- Raymond Rosso (RR) : gestion de la transition entre le système en service (Cautra) et le nouveau système ?

R : Elle est prise en compte dès le début du programme, installation de quelques nouveaux postes de travail en salle, tests en mode « shadow » en faisant fonctionner les deux systèmes en parallèle, tests de « fall-back » (retour arrière après transition), formation sur 18 mois.

Thales : utilisation de la basse saison qui permette d'avoir les deux systèmes dans la même salle et ancien système maître et nouveau en mode « shadow », puis l'inverse avec éventuellement possibilité de retour arrière.

- Alain Garcia (AG) : quelle couverture contractuelle en cas d'anomalie après mise en service ?

R : Pour 4flight des états techniques sont mis en place dans la semaine : 2 « patchs » techniques en 2 semaines après la mise en service à Reims, puis 3 états techniques en 4 mois. Il n'y a eu qu'un crash unitaire d'une visualisation et une panne STPV (Système de traitement des plans de vol) de 20 minutes récupérée par le système de secours prévu pour alimenter la visualisation.

Pour Thales le traitement des anomalies en fonction de la sévérité fait l'objet de clause contractuelle.

- PA : comment a été fait le partage des allocations de sécurité entre le système et l'humain en assurant la couverture et en évitant de mettre des exigences trop fortes sur le système ?

R : Cela est pris en compte dans la méthode adhoc d'analyse de la sécurité qui a été définie pour prendre en compte ce qu'apporte l'humain et les événements redoutés pour lui à cause de ce changement.

- Marc Baumgardner (MB) : en 2006, Skyguide, les problèmes étaient souvent de niveaux psycho-cognitifs (remplacement du bruit de l'imprimante, de la couleur des porte-strips) par la souris à 4 boutons et la couleur, secours ultime par une image radar photographiée toutes les secondes.

### **5.3 Geneviève Marquis : Développements des systèmes du contrôle du trafic aérien militaire : leurs spécificités**

- Quels sont les clients ? : Bases aériennes (tours de contrôle, approche), Centres de contrôles régionaux duaux civils-militaires : gestion commune des vols en route civils-militaires (Finlande, Australie).
- A noter la solution mise en œuvre en France : Co-implantation de contrôleurs militaires dans les centres de contrôle régionaux et utilisant le système ATM civil pour gérer les vols militaires en-route. Cette solution n'exige pas de développement industriel spécifique.
- Thales commercialise aussi un produit de C4I (command, control, communication, computers & intelligence) qui intègre la gestion des vols militaires en route : c'est le Skyview. Ce produit n'est pas inclus dans la présentation. Le développement des systèmes AT militaires par Thales hors C4I sont basés sur les systèmes civils ou communs.
- Pour les bases aériennes les besoins de base sont simples et partagés entre les différents clients (situation aérienne, plan de vol) avec peu de trafic et sans la complexité OACI.
- La valeur ajoutée Thales repose sur le maintien d'une situation aérienne, multi-senseurs, les paramètres descendants, le filtrage des informations, les safety net (alerte trafic civil), gestion des zones d'exercice...
- Pour le contrôle en-route Thales a développé des systèmes civil-militaire communs (Finlande, Onesky Australie) avec des fonctionnalités spécifiques : FUA (Flexible Use of Airspace : activation/désactivation des zones réservées ), gestion des alertes, interface avec le serveur LARA (local and subrégional airspace management support system Eurocontrol), gestion des vols en formation, support à la coordination civil-militaire, gestion dynamique de l'espace aérien, réaffectation dynamique de la responsabilité du contrôle, création dynamique de secteurs d'activité en fonction des besoins, filtrage de l'information diffusée vers le contrôle civil.
- Le processus de développement des systèmes militaires est identique à celui des systèmes ATM civils. Les contraintes réglementaires (OACI) sont plus contraignantes pour les systèmes civils. Les points de contact sur les bases aériennes sont les contrôleurs militaires et les personnels techniques de maintenance.
- Pour les centres de contrôle duaux : soit un seul opérateur, soit deux opérateurs, un civil et un militaire.



Retour d'expérience : projet OneSky en Australie. Objectif d'harmonisation des systèmes ATM civils et militaires :

- Contrat de développement passé entre Thales et Air Services Australia, l'ANSP Australien (civil), qui a passé un contrat spécifique avec le ministère de la Défense australien ;
- Exigences de sécurité contraignantes : les exigences sécurité des civils sont supérieures à celles des militaires, mais ceux-ci ont des exigences de sûreté plus fortes : documents classifiés « protégés » et « secrets », cryptage des communications avec les centres militaires, enregistrements cryptés, exigences de cybersécurité renforcées ;
- Collecte des besoins des contrôleurs civils et militaires : COCD (Common Operational Concept Document) établi par les contrôleurs, OSDC (Operational System Description and Concept) rédigé par des anciens contrôleurs employés par Thales, sessions de présentation capture et conception du système TopSky de Thales, CMT (continuous maturity team) tests avec des contrôleurs civils et militaires pour évaluer TopSky.
- Facteurs clés de succès :
- Collecte des besoins opérationnels (en termes de besoins et non de solutions, des scénarios) auprès des utilisateurs finals ;
- Le lien avec l'utilisateur final pour saisir et comprendre les besoins opérationnels ;
- Mise en place au sein de Thales d'une équipe d'anciens contrôleurs associés étroitement au développement, chargés de comprendre le client et de s'assurer la satisfaction des besoins opérationnels ;
- Organisation de sessions de collecte des besoins entre les contrôleurs opérationnels et l'équipe de développement industriel ;
- Fournir le plus rapidement possible un accès au produit en cours de développement aux opérationnels pour des tests ;
- Limiter strictement les changements pour éviter les retards. Un nouveau besoin est-il utile ?
- Intervention positive des ergonomes coté client et industriel permettant d'avoir des références et des avis extérieurs.
- **Le succès ou l'échec est celui du client et de l'industriel**

### **5.3 Marc Baumgartner : Compléments, remarques aux présentations précédentes**

Rappel des conclusions de l'atelier du 21/11/2021 : limites de l'automatisation de l'ATC, le système a peu évolué, est artisanal et reste très fragmenté.

- Besoins et moteurs de changement : politique : Programme européen Single Sky, Recherche : SESAR NEXTGEN, initiatives ATM : Free Route

- Airspace, remote towers, Industrie : drones, Coopans, iTEC (interoperability Through European Collaboration), Aireon, Simulateurs de formation, formation assistée par ordinateurs, Innovation Intelligence artificielle ;
- Monde idéal : amélioration de la productivité des ANSPs, utilisation rationnelle et efficace des moyens, amélioration de la collaboration entre acteurs et meilleure prédictibilité par partage de trajectoire, amélioration des performances, inclusion de tous les aéronefs, amélioration de la sécurité et de la sûreté ;
  - Tours de contrôle à distance : London City airport, Norvège (17 tours à distance dans un centre de contrôle dédié) tour digitale et réalité virtuelle ;
  - Réduction des séparations entre avions en approche : exemple britannique, basé sur des séparations en temps et non en distance, efficace en cas de fort vent de face.
  - Challenges :
  - L'introduction intensive de l'IA dans l'ATM est prévue et va entraîner des changements majeurs des systèmes ATM. En Suisse l'IA est déjà utilisée pour l'aide à la détection de conflits entre trajectoires ;
  - **Introduction des eMCO (extended minimum crew operations) et des SPO (Single Pilot Operations) s'appuyant sur l'utilisation massive de l'IA à bord des avions : impact probable sur les systèmes ATM :**
  - Choix difficiles pour l'organisation des opérations : taille limitée des salles de contrôle et des équipes de contrôleurs ;
  - Méthodes actuelles d'évaluation de la sécurité pas adaptées à l'IA (problème de l'assurance de l'apprentissage).
  - Collaboration Homme-Machine (point de vue de l'IFATCA-) : se concentrer sur la conception et la fourniture de technologies centrée sur l'opérateur. On doit réduire la distance entre opérateurs et ingénieurs.
  - Le futur :
  - L'humain n'est pas seulement une solution de secours en cas d'urgence ;
  - Utiliser ses points forts, minimiser ses points faibles ;
  - **Le contrôleur sera un décideur actif : "gérer" plutôt que "contrôler" le trafic ;**
  - Système ouvert ;
  - Transition continue.
  - **Les compétences futures sont explorées par l'IFATCA (International Federation of Air Traffic Controllers' Associations) avec le groupe Eurocae WG125, Next Generation Aviation Professionals. Elles seront plus basées sur l'IA, les mathématiques, une formation d'ingénieur et moins de passion pour l'aviation !!**

#### 5.4 Séance de questions/réponses

- Stéphane Chatty (SC) : comment est répartie la sécurité entre les hommes et le logiciel ? Facteurs Humains dans les analyses de sécurité ? Est-ce que la contribution positive de l'humain sur la sécurité est prise en compte ?

Geneviève Marquis (GM) : Pour la cybersécurité les 2/3 du risque sont liés à l'humain donc faire une formation.

- SC : Quelle est la contribution positive de l'humain à la sécurité ? Reporter la sécurité sur les logiciels avec un coût associé croissant ?  
GM : La criticité logiciel est différente suivant les centres. Les clients ont des visions différentes →Thales adopte une approche pragmatique en s'adaptant à la demande et en évitant la complexité.
- Damien Figarol (DF) : Les opérationnels souhaitent reporter les exigences sécurité sur les systèmes d'aide à la décision. La perte d'intégrité des données pouvant entraîner une mauvaise décision n'est pas un problème d'assurance logiciel. Il faut ajouter des boucles de contrôle d'intégrité supplémentaires des données. Comment garantir la qualité de ces données est un problème d'architecture et de conception.
- PA : L'homme est important dans cette boucle de contrôle - il a un savoir-faire comme le pilote et c'est un moyen de mitigation qu'il faut prendre en compte
- SC : Denis Bonnet : L'industrie automobile a fait le choix : l'humain est chargé de la performance et la machine surveille l'humain.
- G. Boy : La conception doit être anthropocentrée. Tous les problèmes de sécurité sont dus à l'homme, que ce soit en opérations ou en conception, car les concepteurs sont des humains. Simplifier un système complexe n'est pas toujours une bonne idée à cause du réductionnisme que cela entraîne. Il faut souvent se familiariser avec la complexité d'un système pour le trouver simple. L'opposé de complexe n'est pas forcément toujours « simple », mais « familier ». La distinction entre complexe et compliqué réside souvent dans le fait qu'un système compliqué est généralement mal conçu. Earl Wiener parlait de « clumsy automation » pour qualifier une automatisation mal faite, c'est-à-dire inutilement compliquée.
- AG : comment sont faites les sessions de capture ?  
GM : Pour chaque évolution d'un système 2 ou 3 séances par évolution pour définir le besoin avec : définir le besoin opérationnel en gardant la trace des choix, l'équipe intégrée est sur site de validation pour préparer et faire les tests, (contrôleur australien chez Thales- après la phase d'Appel d'offre ; pas de contrôleur militaire dans l'équipe – contrôleur civil suffit).
- AG : ne faut-il pas recruter des professionnels passionnés, comme le suggère MB ?  
MB : pas de gens passionnés – la passion ne sera pas forcément pour l'aviation, ce pourra être ailleurs
- Y. Gourinat (YG) : la passion est contagieuse, pas seulement de l'aviation, passion de la vie et de plein de choses.
- AG à Nicolas Trézéguet de Daher (NT) : Comment est prise en compte l'évolution de l'environnement de la gestion du trafic aérien (ATM) chez vous? Les clients sont-ils consultés ou subissez-vous les changements ? (ex. RNP)

NT : On a besoin de confidentialité des développements pour ne pas nuire à la vente des anciens produits, mais les clients clés sont consultés ; on subit les évolutions de l'ATM dont on découvre parfois l'intérêt a posteriori ex. CPDLC (Controller-pilot data-link communications) aux USA.

Pour les choix d'évolution la représentativité est celle des pilotes des meilleurs clients – propriétaires faisant au moins 200h de vol par an. Le temps de d'appropriation peut être long.

Il peut être difficile à suivre les évolutions ATM mais on a eu la chance d'être accompagnés par les fournisseurs d'avionique.

L'aviation d'affaires est beaucoup plus avancée que l'aviation de transport (WAAS-Wide Area Augmentation System-, EGNOS, HUD..) car les clients ont une appétence pour la nouveauté et besoin de sécurité et utilisent de petits aéroports souvent peu équipés.

- G. Rozenknop : comment est prise en compte la transition écologique ?

GM : par la mise en œuvre d'outils appropriés pour le contrôleur Free Route, CDO (Continuous Descent Operation), TBO (Trajectory Based Operation), Arrival manager.

Sur les traînées de condensation des expérimentations sont en cours, mais le degré de confiance est 6 fois moindre que pour le CO2.

- MB : L'ATC a un potentiel de réduction CO2 de 6 à 12 % sur les opérations ; on pourrait obtenir 2,3 à 4,3 % en réduisant la fragmentation et c'est un problème politique ; impossible d'optimiser la trajectoire de bout en bout.
- GM : Face aux demandes des clients sur la sécurité Thales dispose d'un service spécifique de même que pour les aspects de cybersécurité. Ainsi les aides à l'atterrissage ILS sont maintenues face aux approches satellites en tant que systèmes de secours en cas de problèmes cyber.

▫

# CHAPITRE 6

## **Résumé des présentations et discussions de la session relative aux systèmes interpénétrés**

### **6.1 Christine Bailleul : Exposé sur le CDM (Collaborative Decision Making)**

Contexte de développement du CDM à Roissy-CDG : 4 pistes, 2 doublets, 3 approches parallèles simultanées (avec Le Bourget), 3 tours de contrôle (Nord & Sud en journée, Centrale nuit et back up), 500 000 vols en 2019, Capacité 73 départs /heure - 76 arrivées/heure.

- Croissance du trafic très forte entre 1990 et 2000, avec la mise en place du hub d'Air France. Pour réduire les retards dus à la demande de trafic supérieure à la capacité des solutions sont mises en œuvre comme l'outil d'aide au séquençement des approches en Région Parisienne (Maestro), création du Centre de Contrôle des Opérations d'AF, mise en place au niveau européen du Network Manager.
- Crise de l'hiver 2003 : deux jours de neige sur la Région Parisienne, 25 % des vols annulés, retard supérieur à 2 H par vol, 5000 passagers bloqués à CDG.
- Décision de lancer le chantier de mise en place du CDM à Roissy suite à la crise. Philosophie du CDM : partage des informations entre les acteurs, décisions en commun. Trois acteurs concernés : le gestionnaire de l'aéroport (ADP), le gestionnaire de la circulation aérienne (DSNA) et les Compagnies aériennes, en particulier AF. D'autres acteurs se sont joints depuis le démarrage : Météo France, Eurocontrol, SESAR JU, FedEx, easyJet, BAR France (représentant les autres compagnies qui fréquentent l'aéroport).
- Trois clés de succès : roadmap de projets en commun, fonctionnement opérationnel collaboratif, séquence de départs commune.
- Le CDM en fonctionnement : plateau CDM (PC crise), site web pour le partage des informations, outil technique d'élaboration d'une préséquence de départs commune (GLD-C : Gestion Locale des Départs, Collaborative).
- Le CDM satisfait-il les usagers ? Globalement oui.
- Développement de l'outil GLD-C : par ADP, algorithme pointu à la logique complexe, deux évolutions annuelles.
- Des insatisfactions sur le système GLD-C : grande volatilité, mécanisme de séquençement opaque, précision insuffisante pour l'ATC, inefficace en cas de crise. Le système ne satisfait pas tous les usagers mais il est exploité tous les jours. Un projet de refonte est en cours.

## 6.2 Luc Deneufchâtel : Peut-on tirer des leçons des difficultés et de la lenteur de la mise en œuvre du data-link ?

Le data-link : Une évolution ou une révolution ?

- Le data-link aéronautique a commencé avec le système ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System) utilisé par les compagnies aériennes, depuis les années 1970. C'est une évolution majeure qui ajoute aux échanges vocaux air-sol l'échange de minimessages. Le premier usage du data-link pour l'ATM a utilisé l'ACARS pour les vols océaniques (CPDLC et ADS-C -Automatic Dependand Surveillance-Contract) et continentaux (ATIS-Automatic Terminal Information Service-), clairances départs, clairances océaniques. L'OACI a normalisé le data-link conforme au protocole de communications ATN.
- Le data-link est considéré comme le futur moyen de communications d'échanges de données entre calculateurs du bord et du sol, pas gérables en utilisant les échanges vocaux.
- Un système data-link comprend deux composants : l'infrastructure de télécommunication, les services associés ATM (CPDLC, ADS-C...) ou AOC (Aeronautical Operational Communications) (EFB : Electronic Flight Bags). Le déploiement de l'infrastructure de télécom est un gros investissement : le cycle de déploiement complet est de l'ordre de 25 ans. Dans l'UE le déploiement est régulé par un règlement de la Commission européenne.
- Les services initiaux associés se sont rapidement développés : ATN-B (Aeronautical Télécommunication Network Baseline) pour l'ATM. Les services futurs sont standardisés mais pas encore déployés.
- Le processus de décision est très long et basé sur des plannings et des analyses coûts-bénéfices optimistes, voire irréalistes.
- Est-ce un problème de technologies ? La durée très longue du cycle de déploiement conduit à mettre en service des technologies obsolètes. Par exemple, le VDL-M2 (VHF Data Link – Mode 2), normalisé par l'OACI dans les années 90 est complètement obsolète aujourd'hui. Les besoins opérationnels en fin de cycle de déploiement ne sont plus compatibles avec les performances. Les concepteurs des services associés ne tiennent pas compte des limites de performances des systèmes data-link utilisés. Le VDL-M2, en cours de mise en service en Europe, n'est pas compatible avec les besoins de SESAR.
- Quels sont les facteurs bloquants ? Délais et coûts très optimistes, qui décrédibilisent les capacités des systèmes déployés. Il faudrait subventionner en priorité le déploiement de l'infrastructure. Problème de pilotage du déploiement : il faudrait mettre en place d'un CNS Program Manager pour l'UE.
- Quels moyens de communication futurs ? Le VDL-M2 est d'une

technologie ancienne, limité en performances, non adapté pour le long terme. Quid de nouveau moyen ? : Le système IRIS de communications par satellites d'Inmarsat : technologie mature, standards publiés, fournisseur de service européen en cours de certification, mise en service prévue en 2023, solution valide pour les services ATM et AOC ; Le système LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System) de data-link terrestre, dans la bande de fréquence des DME, est en cours de normalisation, et des tests de compatibilité avec le DME et le GNSS sont en cours.

#### Prochaines étapes ?

- Les dernières générations d'avions commerciaux utilisent de manière importante les liaisons de données air-sol (exemple : le suivi du fonctionnement des moteurs en vol). Les bandes passantes disponibles dans les bandes de fréquence attribuées aux communications aéronautiques sont limitées. Les délais de déploiement sont un risque de remise en cause des attributions par l'Union Internationale des Télécommunications : les opérateurs de communications mobiles sont à la recherche de nouvelles bandes de fréquences et s'intéressent à toutes les bandes inutilisées.
- Il est urgent de décider la mise en service d'IRIS dans l'UE. Pour le LDACS le déploiement devra commencer dès que la standardisation sera terminée.

#### Conclusion :

L'intérêt du data-link est l'échange des données entre machines à bord et au sol. Il reste encore à définir quel sera le rôle des échanges vocaux, et comment seront gérés les besoins tactiques dans un environnement stratégique (gestion des trajectoires 4D) ? Le data-link a un impact important sur les méthodes de travail des contrôleurs et des pilotes.

# Annexe 1

## Réflexions relatives aux compétences

Le mot compétences a inspiré beaucoup de tentatives de définition\* depuis les plus abstraites aux plus pratiques, de la part de chercheurs et d'opérationnels. Il ne saurait être question ici d'en proposer de nouvelles, les membres de la CAC pensant que l'examen des questions pratiques se posant pour l'accomplissement correct des métiers de l'aviation, avec résolution de difficultés potentielles nouvelles, prime. L'atelier mis en place avec les professionnels présents permet, justement, d'énumérer un certain nombre de ces futures difficultés, avec leur personnalisation aux métiers choisis, et sans prétendre à l'exhaustivité, leurs rassemblement et complémentarité donne une vue assez impressionnante des solutions à trouver.

Note : La performance, le résultat de l'action, dépend à la fois de la compétence et du contexte. La compétence seule n'est pas synonyme de performance

\*Voici des exemples de définition passant du général à la pratique :

1- « ...On n'oubliera pas que la compétence est l'art de mettre en œuvre des connaissances, sans connaissances la compétence est virtuelle, particulièrement pour les métiers du TA ». On peut ajouter : « elle est également l'art de gérer les compétences » (Textes internes de la CAC).

2- La publication d'Airbus "Safety First" d'octobre 2021 (accessible via internet) contient le texte suivant (traduction de la rédaction):

« L'OACI définit la compétence comme une dimension de la performance humaine qui est utilisée pour prédire de manière fiable la réussite au travail. Une compétence se manifeste et est observée par des comportements qui mobilisent les connaissances, les aptitudes et les attitudes pour mener à bien des activités ou des tâches dans des conditions spécifiées. En d'autres termes la compétence d'un individu à effectuer son travail de manière efficace se manifeste par des comportements observables. L'observation de ces comportements, qui repose sur des connaissances pertinentes, le bon ensemble de compétences et l'attitude ou la motivation appropriée (KSA) peut être utilisée pour prédire les performances futures....

...Par exemple, l'AESA définit neuf compétences (également utilisées par Airbus) pour le personnel navigant technique :

- Application des connaissances.
- Application des procédures et respect de la réglementation
- Communication
- Gestion de la trajectoire de vol - Automatisation
- Gestion de la trajectoire de vol - Contrôle manuel.
- Leadership et travail d'équipe
- Résolution de problèmes et prise de décision.
- Conscience de la situation et gestion de l'information.
- Gestion de la charge de travail... »



3- On citera également une définition synthétique tirée du document intitulé « Recherche sur les Compétences futures en Aéronautique » de Jean Pinet, daté du 22/06/2021, accessible sur le site de l'AAE :

*Compétences* : aptitude à utiliser des savoir (connaissances), savoir-faire (habiletés et application de règles), savoir-être (éducation et comportement), avec l'objectif d'obtenir des résultats dans l'exécution de tâches.

## Annexe 2

### Tableau simplifié d'une vision d'ensemble des compétences requises

(Les métiers retenus pour l'atelier du 06/12/2022 apparaissent en couleur, les autres sont là pour rappel)

**Note : le métier de certificateur est considéré comme découlant assez directement de celui des concepteurs/ développeurs -d'ailleurs pas mal d'entre eux en sont originaires-aussi faute de temps celui-ci n'a pu être traité mais le lecteur averti saura en extrapoler les nouvelles compétences requises.**

Fonction	Compétence Terme proche	Compétence Terme lointain	Observations
<p><b>BE de conception/développement</b></p> <p>Organe concepteur</p> <p>Réseau de cerveaux</p> <p>Chargé de l'ingénierie</p>	<p>Spécialisations dans l'expertise de -Domaines scientifiques et techniques.</p> <p>-Spécialistes « gluons » de coopération entre spécialistes. Spécialistes de l'émergence de solutions optimales.</p> <p>-Capacité à utiliser les moyens génériques et spécifiques procurés par l'informatique (y compris ce qui sera noté « IA »).</p>	<p>Les mêmes plus :</p> <p>-Capacité de travail en réseaux sans structure hiérarchique.</p> <p>-Flexibilité dans l'acceptation de l'optimisation.</p> <p>-Imagination sans limite.</p> <p><b>-Complète connaissance des métiers des opérations : pilotes, CCO et contrôleurs.</b></p>	<p>« ingénieur »</p> <p>-L'assimilation des méthodes et des outils de l'informatique sous forme dite IA sera la compétence de base.</p> <p>-Assimilation suffisante du contexte non technique : sciences humaines et environnementales.</p> <p><b><u>-Attachement à l'expérience réelle devant confirmer les modèles.</u></b></p>
<p><b>Certification/ suivi de la navigabilité</b></p> <p>Autorité représentative des tiers innocents.</p> <p>Régulateur.</p>	<p>-Activités de recherche sur le concept même de certification.</p> <p>- Théoriciens de la certification. Reprise de l'ensemble de la réglementation obsolète devant les évolutions (autonomie) avec : - Vision universelle.</p> <p>- Prise en compte complète des aspects humains.</p> <p>- Prise en compte de la transition énergétique.</p> <p>-Nécessaire compétence pluridisciplinaire et système global.</p>	<p>-Processus dématérialisés et évolutions en temps réel.</p> <p>-Nouvelle réglementation adaptée aux nouveaux produits et aux nouvelles méthodes, à une nouvelle structure du STA.</p> <p>-Certification des formations en cohérence.</p> <p>Unification mondiale.</p>	<p>« certificateur »</p> <p>Les évolutions en temps réel pourront demander des moyens de validation et « certification » radicalement nouveaux</p> <p>-La compétence devra s'étendre à plusieurs types d'aéronefs en raison des interactions et du foisonnement des processus de conduite du vol.</p>
<p><b>Pilote</b></p> <p>Décideur embarqué.</p>	<p>-Réactivité adaptée avec bonne résilience mentale et physique.</p> <p>-CRM efficace.</p> <p>- Mémoire d'incidents et accidents rapportés.</p>	<p>-Les mêmes adaptées aux interfaces de machines de plus en plus puissantes.</p> <p>-Evolution du CRM : Capacité de dialoguer avec un assistant virtuel à bord et /ou</p>	<p>« pilote »</p> <p>-L'assistance à distance demande une analyse particulière pour ce poste : place d'automates ad hoc ?</p>

<p>Responsable du vol.</p> <p>Autorité tous domaines.</p> <p><i>Commandant de Bord.</i></p> <p><i>Chez les anglo-saxons le Commandant de Bord est le « Captain ».</i></p>	<p>-Algorithme mental générique « incidents ».</p> <p>-Accepter le dialogue avec la machine en revoyant ses propositions pour résolution de difficultés.</p> <p>--Art de la communication de crise.</p>	<p>physique/virtuel au sol.</p> <p>-Capacité à saisir et interpréter très rapidement des informations « machine » plus abstraites et synthétiques.</p> <p>-Gestion de l'autonomie accrue des machines pouvant « décider », sous surveillance</p>	<p><b>-Exigences plus strictes pour le monopilote : reprise de la poursuite du vol par l'assistant bord ou sol. Rôles des CCO et Contrôleurs à définir.</b></p> <p>-Dans l'immédiat, diffusion de la compétence dans toute la population concernée.</p>
<p><b>Gestion du trafic aérien (ATM)</b></p> <p>Gestion de l'espace aérien civil et militaire</p> <p>Gestion des flux, du séquençement et des priorités</p> <p>Contrôle du trafic</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• séquençement</li> <li>• séparation</li> </ul> <p>UTM (Unmanned Traffic Management)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion de nouveaux espaces aériens (spécifiques drones, très haute altitude) avec ségrégation</li> <li>• Gestion de volumes étendus</li> <li>• Délégation à des centres voisins et délocalisation (virtualisation)</li> <li>• Gestion et optimisation environnementale des trajectoires</li> <li>• Rôle d'arbitre et de défenseur du bien commun face aux négociations entre CCOs des « compagnies »</li> <li>• Adaptation aux systèmes numérisés et automatisés avec des interfaces HM performantes et mise en œuvre des numériques Air-sol</li> <li>• Maintien du contrôleur dans la boucle</li> </ul> <p>Prise en compte des pannes et des incidents cybersécurité</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion d'aéronefs de caractéristiques différentes : classique, drones, SPO et dans des espaces aériens partagés</li> <li>• -Architecte de l'espace aérien du système dans ses évolutions (densification de nouveaux espaces).</li> <li>• Supervision d'un système très automatisé</li> <li>• Prise en compte des drones</li> <li>• Automatisation de la fonction séparation</li> <li>• Délégation du maintien des séparations à bord (self separation)-</li> </ul>	<p>-« contrôleur aérien »</p> <p>L'évolution portera sur les dimensions et la complexité de l'espace aérien, des aéronefs et des systèmes et les critères d'optimisation de l'exploitation.</p> <p>-Exigences plus strictes pour les avions monopilotes : en cas d'incapacité reprise de la poursuite du vol par l'assistant virtuel de bord ou sol : rôle des Contrôleurs à définir.</p>

## Annexe 3

### Liste des participants à l'atelier AAE du 06 décembre 2022

Prénom	Nom	Organisme
Pierre	Andribet	AAE
Christine	Bailleul	DSNA
Pierre	Baud	AAE
Marc	Baumgartner	AAE
Thomas	Bessière	HINFACT
Jean-Michel	Bigarré	extérieur/Airbus
André	Bord	AAE
Guy	Boy	AAE
Alain	Cassier	AAE
Stéphane	Chatty	DSNA
Dominique	Colin de Verdière	AAE
Cdt Frédéric	Coubard	CEAM
Didier	Delibes	Airbus
Luc	Deneufchatel	AAE
Frédéric	Falchetti	Dassault Aviation
Damien	Figarol	ex DSNA
Sylvie	Figarol	DSNA (en visio)
Alain	Garcia	AAE
Guillaume	Girard	Dassaut Aviation
Yves	Gourinat	AAE
Jean-Paul	Imbert	ENAC
Pascal	Laurens	Airbus
Geneviève	Marquis	Thales ATC Product Line
Hugues	Meunier	ex Thales
Philippe	Palanque	IRIT&Flextech
Jean	Pinet	AAE
LCL Jérôme	Ranc	CEAM
Jean-Claude	Ripoll	AAE
Raymond	Rosso	AAE
Gérard	Rozenknop	AAE
Jean-Jacques	Speyer	AAE
Etienne	Tarnowski	AAE
Pascal	Traverse	Airbus
Nicolas	Trézéguet	Daher
Jacques	Verrière	AAE

## Annexe 4

*Photos des participants à l'atelier AAE du 06 décembre 2022*





## **Académie de l'air et de l'espace**

Ancien observatoire de Jolimont  
1 avenue Camille Flammarion  
31500 Toulouse - France

**[academieairespace.com](http://academieairespace.com)**