

RECHERCHE SUR LES COMPETENCES FUTURES EN AERONAUTIQUE

TACHES OPERATIONNELLES DYNAMIQUES

1 - GENERALITES

1.1 - Objectif et méthode

La remarquable étude de JC Ripoll¹ sur le futur du système de transport aérien (STA) ouvre largement la vue sur un ensemble complexe d'évolutions des parties constituant ce STA, donc sur l'ensemble des professions dont on recherche l'évolution des compétences.

Apparemment il est difficile d'adopter une méthode unique pour toutes les catégories professionnelles afin de prédire ces compétences futures requises en aéronautique vers 2050. On fait ici le choix de s'intéresser à la catégorie professionnelle dont les compétences concernent la sécurité immédiate, celle des opérationnels en charge des aéronefs. Plus précisément leurs compétences s'exercent de façon dynamique, avec le temps à la fois comme paramètre clé et comme contrainte vitale.

Pour ces professions l'ordre de grandeur du temps de prise de décision varie de quelques dixièmes de seconde à la minute. Cette caractéristique majeure fait que les compétences requises sont particulières, et se différencient par exemple de celles de l'ingénieur de bureau d'études où le temps de prise de décision peut aller de quelques heures à plusieurs jours.

On se limitera aux opérationnels en charge de l'avion de transport, essentiellement les pilotes, associés aux autres professions et à l'utilisation des systèmes à bord ou au sol.

L'extrapolation de la méthode utilisée et de certains résultats, à d'autres professions « dynamiques », par exemple celle de *dispatcher* ou de contrôleur de trafic aérien, ne devrait pas poser de gros problèmes.

¹ JC Ripoll, Le transport aérien du futur et les compétences associées, 2021, AAE

Noter cependant que les contrôleurs aériens devront s'adapter à des évolutions opérationnelles et techniques importantes :

- aux liaisons de données air-sol (*datalink*)
- aux nouvelles fonctions des systèmes d'assistance au contrôle (comme le *stripless*)
- au niveau d'équipement des avions qui ne seront pas tous identiques, avec des avions anciens, par exemple sans *datalink* et incapables de suivre certaines trajectoires (PBN, Performance based navigation), et d'autres neufs très bien équipés
- à des avions avec un seul pilote à bord aidé par un pilote en support au sol, mélangés avec des avions avec un équipage à deux pilotes à bord, voire aussi avec des drones télépilotes ou autonomes.

On se basera ici sans y revenir sur les résultats connus des dossiers 37, 38, 42 et 49.

On part de ce qui existe et qui est prévisible aujourd'hui, en s'attachant aux évolutions portées dans les scénarios 5 du dossier 42.

On mentionnera aussi ce qu'il est important de maintenir.

Une remarque s'impose : dans toutes les analyses connues sur les compétences exigées des pilotes il manque des résultats factuels sur les milliers d'accidents évités par les équipages, qui pourraient donner des références irréfutables sur cet aspect de compétences réelles exercées par les pilotes, « producteurs de sécurité » comme les qualifie B de Courville.

1.2 - Compétences ?

Parlant de compétence on attache a priori ce concept à l'humain. Cependant l'analyse des interactions imposées par un autre concept, HSI (Human-Systems-Integration), montre clairement que ce concept de compétence peut être appliqué à des systèmes non humains ainsi qu'on le verra plus loin.

Compétences : aptitude à utiliser des savoir (connaissances), savoir-faire (habiletés et application de règles), savoir-être (éducation et comportement)², avec l'objectif d'obtenir des résultats dans l'exécution de tâches. Ces résultats sont des performances humaines.

L'exercice des compétences est lié aux actions conscientes. C'est ce qu'on retient.

Elles sont directement rattachées aux tâches exécutées, donc pour ce qui nous concerne aux systèmes utilisés par les humains et à leur environnement, donc à l'application des exigences d'intégration Humain-Systèmes ainsi que le précise G Boy³, ce qui signifie que l'évolution des compétences suit étroitement celle de l'HSI dans son ensemble et ne peut pas en être dissociée.

Ou au contraire, une compétence jugée nécessaire pour une tâche devra être accompagnée par la nécessaire évolution du système permettant le plein exercice de cette compétence humaine.

² J.Rasmussen fait état de 3 niveaux mentaux opérationnels : habiletés, règles, connaissances. Ce classement est repris dans ma thèse. Ici on observe que pour les compétences ces deux premiers, ensemble, concernent le savoir-faire et peuvent se traiter en commun (il y a de l'habileté mentale dans le choix et l'application des règles et procédures).

³ Voir références

En fait, cette alliance Humain/Systèmes amène à traiter ensemble et simultanément ces deux agents liés par une action commune. Alors que la tendance inexorable est d'aller vers l'**autonomie** des systèmes matériels, il devient rapidement nécessaire de parler des compétences de cet agent Systèmes agissant de concert avec l'agent Humain pour l'aider ou le remplacer. Objectivement cette étude conduit automatiquement pour chaque agent système vers l'exigence de performances appropriées à cette alliance, ce qui peut se traduire par l'exigence pour chacun des systèmes d'avoir de véritables compétences pour traiter les tâches communes avec les humains qui les gèrent.

Cette notion anthropologique appliquée aux systèmes peut surprendre mais il y a symétrie dans l'exigence des compétences réciproques. L'utilisation de l'intelligence artificielle IA de haut niveau renforce cette nécessité.

L'analyse qui suit, basée sur l'étude de combinaisons d'acteurs humains, d'organisations et de technologies, c'est-à-dire sur le HSI défini par G Boy, démontre cela.

1.3 - Evolution des compétences

L'analyse part d'une situation présente en constante évolution depuis un siècle, et en accélération depuis 70 ans, plus particulièrement depuis l'avènement du numérique des années 1980.

Les tâches des pilotes consistent à assurer une mission suivant des règles précisées mais en présence d'aléas prévisibles ou non, cela en toute sécurité.

Schématiquement les tâches principales sont :

- la conduite de la trajectoire
- la gestion et la surveillance des systèmes
- la gestion des aléas
- le respect de l'environnement,

dans le souci permanent de la sécurité pour les passagers et le personnel de bord.

Ces tâches sont facilitées par l'aide d'automatismes très divers, prothèses mentales autant que physiques. On assiste à une prise en charge grandissante par ces prothèses des tâches attribuées aux humains, de façon continue même s'il y a parfois des accélérations comme au passage au numérique, mais sans qu'on puisse détecter des changements fondamentaux dans les principes techniques adoptés dans la définition de l'ensemble des tâches.

Ce constat historique servira à tempérer les variations dans les estimations. De plus on adoptera une hypothèse « sage », l'adoption du principe de laisser à l'humain ce qu'il fait mieux que les systèmes automatisés et à ces derniers ce qu'ils font mieux que l'humain, au fur et à mesure des avancées technologiques. C'est à peu près ce qui se passe en réalité.

Les progrès technologiques imposent une évolution de type exponentiel de cette prise en charge des tâches humaines, se traduisant par une diminution spectaculaire des accidents.

Cependant on observe un palier dans cette diminution, majoritairement provenant d'un traitement humain incorrect d'aléas. En revanche le traitement correct par les pilotes d'aléas inévitables en aéronautique, des milliers de fois plus fréquent que les erreurs observées, assure le taux élevé de sécurité.

L'analyse des causes d'accidents montre de façon sûre qu'il s'agit alors d'atteinte de limitations physiques et surtout mentales humaines, auxquelles les performances des systèmes ne sont pas adaptées.

C'est là que se pose le vrai problème des compétences humaines. On s'aperçoit aujourd'hui de l'existence de ces limitations mentales qu'on ne connaît qu'imparfaitement, alors qu'on limite de plus en plus l'intervention humaine à des tâches plus mentales que physiques. Il y a là une incohérence à éliminer, un défi à surmonter. Par exemple lorsqu'on aide comme prévu l'humain à l'aide d'une quelconque intelligence artificielle (IA) forcément quantifiée, on n'est cependant pas capable de définir et de quantifier le comportement mental humain qu'on veut aider ou remplacer.

Dans les compétences assignées il y a donc toujours des limitations humaines, plus ou moins bien prises en compte dans l'attribution des tâches aux humains, les pilotes en l'occurrence.

Dans tout système matériel l'approche de ses limitations d'utilisation se traduit par une baisse de performance, voire un arrêt de fonctionnement *sans état d'âme*. De même chez l'humain l'approche de ses limites physiques ou mentales s'accompagne d'une dégradation *humainement vécue* des 3 composantes de ses compétences. Ce qui signifie que pour les professionnels en charge de gestion de systèmes dynamiques leurs compétences ne peuvent être utilisées qu'à l'intérieur de leurs limites physiques et mentales. D'où la nécessité de connaître ces dernières dans la diversité des contextes opérationnels et de leurs aléas.

Ce constat est primordial dans notre analyse.

Enfin on ne peut pas parler d'évolution de compétences sans évoquer comment les acquérir ou les modifier.

1.4 - Compétences et limitations

Les principales limitations opérationnelles conditionnant les compétences d'un opérateur humain sont :

- captation physiologique des paramètres de conduite et de surveillance, ergonomie physiologique ;
- traitement cognitif de ces paramètres, ergonomie cognitive ;
- traitement séquentiel des actions conscientes ;
- stockage chronologique séquentiel de chaque action élémentaire consciente sur la mémoire à court terme de capacité temporelle limitée (10 sec à 2 min) ;
- récupération mentale dans les perturbations ou interruptions, dans les séquences en cours ;
- en situation inattendue, focalisation de l'attention pouvant saturer la mémoire à court terme ;
- en revanche, perte de vigilance en l'absence prolongée d'information contrastée.

D'autre part le temps est l'élément primaire de son fonctionnement : toute action mentale a une durée, et le temps disponible pour une tâche conditionne son exécution.

Il s'agit bien de caractéristiques dynamiques influant et limitant le fonctionnement physiologique, cognitif et mental humain.

1.5 - Constats

La partie humaine n'est pas modifiable en ses bases. Il faut donc faire avec les limitations citées, de deux façons principales, obligatoirement limitée côté humain mais ouverte côté systèmes.

Les analyses d'accidents montrent les domaines principaux où la compétence humaine est prise en défaut, ce qui peut donner une bonne indication d'orientation d'amélioration de l'HSI. En voici quelques-uns :

- tri difficile sinon impossible en temps limité des paramètres pertinents présentés aux pilotes en situation de crise ; obligation de simplification et synthèse ;
- alarmes multiples, surtout auditives, saturant mentalement les acteurs ;
- focalisation parasite de l'attention ;
- difficulté d'accès rapide au jugement correct de la situation critique ;
- déficience d'accès rapide aux conditions possibles de récupération de situation ;
- perte de vigilance dans des situations peu évolutives ;
- procédures opérationnelles sans références temporelles.

La partie ergonomique, physiologique et cognitive, est relativement bien connue et bien traitée. L'évolution des cockpits depuis 50 ans montre les formidables progrès obtenus. Elle se poursuit. Règlements et standards qualitatifs et quantifiés sont utilisés, en conception de systèmes et en opération.

En revanche la partie comportement opérationnel est largement déficiente, notamment en résistance au stress, en jugement de situations et en vigilance. Seules des recommandations générales existent, basées surtout sur la psychologie.

L'état des systèmes allant inexorablement vers l'augmentation de leur complexité, les prothèses en question empiètent de plus en plus sur les possibilités humaines d'actions directes de commande et de contrôle, reléguant ainsi l'humain vers le contrôle de fonctionnement, fonction humaine souvent peu fiable, et vers la prise de décision dans des situations délicates et de compréhension difficile.

A cela s'ajoutent les difficultés physiques et mentales de reprise en main des conséquences de défaillances de prothèses.

1.6 - Action de base nécessaire

Les études précédentes (dossiers 42 et 49) ont montré qu'il était illusoire, pour encore longtemps, de vouloir remplacer partout cet humain peu fiable, mais qu'il était préférable de l'utiliser au mieux de ses possibilités et de ses compétences réelles.

Il faut donc impérativement tenir compte des performances humaines à l'intérieur des limitations opérationnelles. Les limitations ergonomiques sont connues et quantifiables et en général bien traitées, cependant parfois de façon insuffisante comme pour les alarmes.

En revanche, comme recommandé dans les dossiers cités, le comportement opérationnel doit faire l'objet d'études neuropsychologiques qualitatives et surtout quantitatives pour débusquer les inconnues de ce domaine. Cela ne peut qu'être profitable au partage des compétences entre l'humain et ses prothèses mentales, dont l'IA.

Sinon on restera bloqué par les limitations mentales des compétences altérant de façon aléatoire la sécurité des missions.

1.7 – Rôle de l'intelligence artificielle (IA)

La position adoptée récemment par l'EASA dit clairement ce qu'on peut attendre de ce concept dérivé de l'antique système expert. Il suffit de se reporter à ce qui est écrit dans le document « EASA, Artificial Intelligence roadmap – A human-centric approach to AI in aviation » de février 2020. L'orientation HSI est clairement mentionnée.

“The most discussed application of ML⁴ is autonomous flight. The drone market has paved the way and we can see now the emergence of new business models striving for the creation of air taxi systems to respond to the demand for urban air mobility. Autonomous vehicles will inevitably have to rely on systems to enable complex decisions, e.g. to ensure the safe flight and landing or to manage the separation between air vehicles with reduced distances compared to current ATM practices.

This is where AI will come into play: to enable full autonomy, very powerful algorithms will be necessary to cope with the huge amount of data generated by the embedded sensors and by the machine-to-machine communications.

Beyond the ‘holy grail’ of autonomous flight, AI/ML is anticipated to open the way to the design of new systems that will change the relation between pilot and systems:

- *reducing the use of human resources for tasks a machine can do, thus allowing them to better concentrate on high added-value tasks, in particular the safety of the flight;*
- *putting humans at the centre of complex decision processes, assisted by the machine; and*
- *addressing the impact of human performance limitations.*

Although cockpit automation and AI are two different topics, AI may assist the crew by advising on routine tasks (e.g. flight profile optimisation) or providing enhanced advice on aircraft management issues or flight tactical nature, helping the crew to take decisions in particular in high workload circumstances (e.g. go around, or diversion).

AI may also support the crew by anticipating and preventing some critical situations according to the operational context and the crew health situation (e.g. stress, health, etc.).

AI and ML could also be used in nearly any application that implies mathematical optimisation problems, removing the need for analysis of all possible combinations of associated parameter values and logical conditions. Typical applications of ML could be flight control laws optimisation, sensor calibration, fuel tank quantity evaluation, icing detection and many more to come.”

On retiendra cela dans ce qui suit.

En ligne avec la position EASA, l'apport de l'IA est de permettre de traiter des problématiques nécessitant une proposition de solution (optimisation) entre plusieurs solutions multiples selon des pondérations ne pouvant pas être prédéfinies au préalable de façon algorithmique (sauf par apprentissage), au contraire des algorithmes traditionnels qui délivrent une solution unique selon une procédure prédéfinie. Typiquement, un exemple

⁴ Machine learning ML

d'application est de fournir la « meilleure » suggestion de déroutement en cas de panne, en fonction du type de panne, de la quantité de carburant restant, de la situation météo, de la proximité et de la disponibilité des aéroports les plus proches, de la capacité de la piste et de son état d'utilisation, des possibilités d'hébergement et de réorientation des passagers, et de tout autre critère jugé bon à considérer. Dans ces cas il n'y a pas de solution unique, mais une ou plusieurs solutions plus optimisées que les autres, dont la description n'est pas faisable algorithmiquement et dont l'optimisation résultera d'un apprentissage préalable.

2 - FACTEURS INFLUANT SUR L'EVOLUTION DES COMPETENCES

2.1 – Méthode d'analyse

L'étude très complète de JC Ripoll sur l'avenir du système de transport aérien donne une vision large sur des évolutions possibles, d'où il est nécessaire d'extraire un grand nombre de cas à traiter. Cet important travail peut être simplifié avec une bonne approximation en observant les facteurs principaux qui aujourd'hui paraissent orienter l'évolution du STA.

On essaie dans cette partie d'être plus factuel que théorique.

Ce cadre d'analyse est choisi pour simplifier ce qui est compliqué. Ces facteurs, choisis parmi beaucoup d'autres pour leur influence observée, ne sont pas indépendants et des redondances sont inévitables. L'un des objectifs est de rester sur du concret (tangible est aussi un terme utilisé).

Pour chacun des facteurs on sélectionnera les compétences désirables, nouvelles, ou à améliorer, côté humain (**H**), côté systèmes (**S**) (*voir plus loin*), ainsi que les recherches à mener ou à approfondir (**R**).

On admet que l'IA fait partie de la base des évolutions. Sous-jacente dans l'évolution des compétences côté systèmes elle ne sera mentionnée que lorsque nécessaire.

Utilisation des couleurs :

- compétence à maintenir
- compétence à acquérir
- ✓ compétence critique.

Facteurs choisis :

- 1) Evolution des moyens basiques quotidiens d'information, de calcul, de gestion ; influence négative avec disparition des compétences basiques humaines de calcul, de critique des informations
- 2) Evolution de l'éducation sur la sécurité, estimation des risques, réaction à l'inattendu
- 3) Evolution des relations humaines et des responsabilités (CRM, pilote au sol)
- 4) Evolution des moyens de formation (FFS et autres)
- 5) Fluctuations du marché de l'emploi : relâchement des critères de sélection et de formation
- 6) Disparités sociologiques de recrutement et de comportement

- 7) Evolution des prothèses automatiques (présentation d'informations, trajectoire, surveillance des systèmes) : compréhension, problème de vigilance, interventions et adaptation, maintien des compétences de base
- 8) Evolution techniques et opérationnelles de l'ATM : liaisons sol-bord, partage des responsabilités dans la gestion des trajectoires, nouvelles procédures
- 9) Contraintes écologiques : bruit, trajectoires, décarbonation, conduite moteurs
- 10) Evolution technologique des aéronefs et de leur logistique: concepts aérodynamiques, énergie nouvelle (électricité, LH2)
- 11) Evolution du concept SPO : résolution problème de l'assistance du sol, comportements des problèmes mentionnés
- 12) Autres fonctions des pilotes.

L'analyse suivante et la synthèse finale devraient permettre un tri et un cadrage utilisables.

Quelques définitions de termes utilisés :

Agent (dérivé de Larousse) : agent cognitif, unité qui constitue, du point de vue des échanges cognitifs, un centre de décision et d'action élémentaires.

Education (Larousse): mise en œuvre de moyens propres à développer méthodiquement une faculté, un organe.

Formation (Larousse): action de donner à quelqu'un, à un groupe, les connaissances nécessaires à l'exercice d'une activité.

Système (Larousse): Ensemble d'éléments considérés dans leurs relations à l'intérieur d'un tout fonctionnant de manière unitaire. Cela concerne ce qui est extérieur à l'individu, aussi bien une organisation qu'un équipement matériel.

Dans ce qui suit, il s'agit de la conception des systèmes et ensuite de leur utilisation.

Inattendu : peut provenir d'une situation prévue mais dont la survenance surprend, ou d'un imprévu.

2.2 - Remarque sur la compétence des systèmes en HSI

Cette compétence est définie et introduite par les personnes qui élaborent et définissent les systèmes destinés à partager des tâches avec des humains. Donc il s'agit aussi des compétences à acquérir par les concepteurs de systèmes.

Leur définition n'est pas prévue dans ce document car elle nécessite une étude particulière en dehors du sujet traité, limité ici aux compétences des acteurs en opération dynamique. Leur nécessité est implicite dans les compétences systèmes S.

2.3 - Analyse des facteurs

**1) Evolution des moyens basiques quotidiens
d'information, de calcul, de gestion**

On place ici les moyens actuels d'information et de communication portables, largement repris dans la conception des systèmes de bord et au sol, dont l'évolution est conditionnée par celle de la technologie et par son utilisation sociétale mondiale, deux évolutions qu'on ne peut qu'accepter.

Les avantages sont considérables en communication (SMS, video), en mémorisation, en volume de stockage et de traitement d'informations.

H :

Les problèmes de compétences sont nombreux et on ne peut que les lister, les remèdes étant du ressort de l'éducation de base sociétale de masse ; par exemple :

- perte d'esprit critique devant l'information imposée
- avec les calettes perte de l'aptitude aux calculs simples et rapides, d'estimation d'ordres de grandeur
- nombreuses erreurs de manipulation et de sélection dans les menus, non tolérables en vol

Les remèdes à ces diminutions de compétence relèvent de l'éducation de base des pilotes :

- **Entretien du calcul mental et de l'esprit critique.**

En revanche l'utilisation quotidienne de ces appareils personnels permet de

- **Conserver une certaine habileté à trier dans des menus, à écrire des messages, à corriger rapidement des erreurs de manipulation, ou à déchiffrer des messages oraux**

S :

On ne peut qu'apprendre à se servir de ce qui est imposé.

2) Evolution de l'éducation sur la sécurité, estimation des risques, réaction à l'inattendu

On est ici dans le domaine de l'éducation de base des pilotes, généralement prise en compte dans les centres de formation ab initio, plus ou moins bien explicitée dans les règlements régissant les brevets et licences. Cependant on observe des lacunes au cours de contrôles ou lors d'incidents et d'accidents, et il est bon de rappeler l'obligation d'acquérir et de conserver ces bases tout au long des carrières individuelles.

H :

- **Anticiper (*avance de phase*) les situations**
- **Eduquer le balayage visuel et le recoupement des informations paramétrées**
- **Respect des procédures et des consignes opérationnelles**
- **Formation à l'estimation des risques opérationnels**
- **Connaissance des limitations physiologiques et mentales humaines**
- ✓ **Connaissances suffisantes des phénomènes aérodynamiques et météorologiques**
- ✓ **Bonne connaissance théorique et pratique de la mécanique du vol**
- ✓ **Education de la résistance à l'effet de surprise et au stress lors d'évènements inattendus potentiellement dangereux**

S et H :

Sélection :

- **Aptitude à surmonter le stress**

Formation :

- ✓ **Programmes d'éducation aux réactions face à l'inattendu**

Procédures :

- ✓ Définir des procédures simples, en tenant compte de leur temps d'exécution en état de stress, avec une ergonomie de cockpit adaptée aux traitements rapides

R :

- Lancer des programmes de recherche d'après le chapitre 1.6 précédent (comportements).

3) Evolution des relations humaines et des responsabilités

Il s'agit des échanges entre individus de la même profession.

A bord

On constate l'avantage majeur d'une bonne coopération au sein de l'équipage.

H :

- Renforcer l'éducation au CRM (Crew Resources Management), ce qui signifie favoriser les échanges professionnels libres et l'exécution en commun de tâches difficiles en opération à plusieurs pilotes, ainsi que le renforcement de la compétence LTE (OACI : Leadership et travail en équipage)

En sol-bord

C'est le cas du monopilote à bord (*Single Pilot Operation, SPO*) assisté d'une aide au sol. Contrairement à l'idée simplificatrice générale une assistance unique pour plusieurs avions n'est pas toujours suffisante. Dans les situations à évolution rapide sur un avion particulier l'assistance sol utilise une personne à plein temps, parfaitement formée sur le type d'avion en cause.

En revanche s'il s'agit d'une aide à la navigation, en approche par exemple, cette aide peut être partagée par plusieurs avions.

Donc on a affaire à deux types de compétences, pouvant se trouver chez les mêmes personnes. Cela se traduit par des compétences complémentaires.

Une autre compétence indispensable dont l'acquisition par le monopilote pose un sérieux problème, aujourd'hui sans vision de solution satisfaisante pour la sécurité, est l'expérience suffisante pour être Commandant de bord (cdb) sans passer par le stade de copilote.

H :

- Pour le pilote à bord :

- ✓ Programme d'éducation aux réactions face à l'inattendu
- ✓ Devenir cdb sans avoir été copilote

- Pour l'assistance au sol :

- Connaissance suffisante des différents types d'avions assistés (au minimum celle d'un copilote)
- Bonne connaissance des particularités des missions surveillées.
- ✓ Programme d'éducation aux réactions face à l'inattendu

- ✓ Aptitude à partager des tâches de gestion simultanée de plusieurs avions avec celles d'intervention technique/opérationnelle en cas d'urgence

S et H :

- ✓ En fait il s'agit d'une nouvelle profession.

En outre se posent les problèmes du lieu de l'assistance, de son appartenance (compagnie, organisme officiel,...) et des liaisons numériques sécurisées à très haut débit nécessaires pour travailler en commun sol + bord.

4) Evolution des moyens de formation

Les méthodes de formation évoluent très peu car elles sont basées sur des principes séculaires, enseignement par la pratique du nécessaire et suffisant, le problème majeur de la durée de rétention de l'appris restant permanent.

En revanche les moyens de formation suivent l'évolution de la technologie, permettant une meilleure approche de l'efficacité optimale, donc des compétences requises.

L'utilisation de la simulation est la base de la formation aux situations dynamiques. Cependant elle se trouve encore en défaut, par exemple pour les FFS, dans l'acquisition de certaines compétences majeures intéressant la sécurité dans des conditions extrêmes:

H :

- Entretien périodique des compétences par la pratique (FFS)

S :

- Simulation correcte des limites aérodynamiques de perte de contrôle,
- Simulation de conditions extrêmes réalistes du genre perte totale de poussée, d'amerrissage
- ✓ Techniques permettant d'atteindre les limites de stress humain dans des situations inattendues simulées.

R :

- ✓ Recherches sur une incitation réaliste au stress humain en simulation.

5) Fluctuations du marché de l'emploi

Les problèmes surviennent en général lors d'augmentations rapides du nombre d'avions nouveaux, la cause étant la réticence des compagnies à se déterminer à l'embauche de nouveaux pilotes. La durée de formation de ces derniers étant relativement longue, l'embauche différée se traduit par un relâchement des critères de sélection et par des formations se limitant au strict minimum. D'où une diminution du niveau des compétences acquises.

En revanche les fluctuations du trafic aérien n'incitent pas à des prévisions à long ou même à moyen termes. D'où ce qu'on peut considérer comme un vœu pieux :

S :

- Renfort des contrôles officiels sur la sélection et la formation des pilotes en période d'embauche rapide.
- Ne pas considérer les périodes de formation comme « improductives » en termes de comptabilité financière.

6) Disparités sociologiques de recrutement et de comportement

Les accidents et incidents, en particulier les deux accidents de B737Max, montrent la mauvaise adaptation de l'interfaçage HSI si l'on base l'utilisation des systèmes sur un seul type de population. L'estimation des aptitudes aux compétences réelles mondialement observées est nécessaire.

De plus on observe parfois de fortes disparités de comportement au sein des équipages.

D'où quelques actions à mener.

H :

- Au sein de chaque compagnie, veiller à homogénéiser les comportements opérationnels des populations d'origines différentes. Adapter les CRM à cet objectif en fonction des recrutements.

S :

- Dans la conception des systèmes, des automatismes en particulier, tenir compte des compétences réelles de l'ensemble des populations de pilotes auxquelles ces systèmes sont destinés.

R :

- Essayer d'avoir une estimation des compétences de base actuelles observées par type de compagnie pour en tirer des estimations futures.

7) Evolution des prothèses automatiques

Ce chapitre est évidemment d'importance car il traduit la tendance majeure en termes d'avancées technologiques. En matière de compétences plusieurs aspects principaux sont à considérer parmi la multitude d'évolutions.

Perception

Cette phase de traitement des informations, en vue de se forger une conscience de situation correcte dans des conditions d'évolution rapide, est longuement traitée dans les dossiers 42 et 49⁵. Les limitations mentales sont évoquées dans les chapitres 1.4, 1.5 et 1.6 du présent document.

On en résume les aspects principaux concernant les compétences.

H :

Comme déjà signalé l'évolution de l'humain est limitée. L'augmentation et le maintien de ses compétences passent par des actions connues de formation :

⁵ Et dans ma thèse

- Anticiper (*avance de phase*) les situations
- Eduquer le balayage visuel et le recoupement des informations paramétrées
- ✓ Education de la résistance à l'effet de surprise et au stress lors d'évènements inattendus potentiellement dangereux
- ✓ Connaissances suffisantes des phénomènes aérodynamiques et météorologiques
- ✓ Bonne connaissance théorique et pratique de la mécanique du vol

auxquelles il faut ajouter :

- Orientation de la formation sur l'utilisation des systèmes de l'avion en conditions normale ou dégradée vers la connaissance et la pratique en simulation de leurs fonctions.
- Formation à l'estimation des risques opérationnels
- Connaissance des limitations physiologiques et mentales humaines

S :

En revanche l'interfaçage HSI, dans le cockpit en particulier, peut être amélioré de façon considérable, dans la mesure où l'on admet de changer les standards actuels. Cette action est délicate compte-tenu des problèmes financiers qu'elle entraîne. Elle pourrait se produire lors du lancement d'un type nouveau d'avion, avec l'appui des entités d'influence internationale (OACI, EASA, FAA...).

- Diminuer le nombre de paramètres à visualiser en les synthétisant
- Utiliser le plus souvent possible des représentations par schémas
- Identifier les ressources disponibles plutôt que les manquantes
- ✓ Revoir les systèmes d'alarmes, surtout sonores
- ✓ Proposer des actions à l'équipage dans les dégradations de situation
- ✓ Education des bureaux d'études à l'intégration des comportements humains dans toute étude HSI

R :

- ✓ Lancer des études sur les compatibilités entre comportement humain, charge et saturation mentales, types et combinaisons d'alarmes

Contrôle de la trajectoire

Trois problèmes majeurs sont prioritaires : le directeur de vol (*Flight Director, FD*), l'interruption des aides automatiques, l'approche des limites du domaine de vol.

Le FD

Ce système n'est qu'un substitut du pilote automatique (PA). Les combinaisons d'utilisation avec les autres automatismes peuvent amener à des confusions de fonctionnement préjudiciables à la sécurité.

H :

- Enseigner en priorité l'utilisation de la fonction vecteur vitesse

S :

- Changer les fonctions du FD, les passer de passives à actives, par exemple de façon à figurer la trajectoire définie manuellement par pilote
- ✓ Education des bureaux d'études à l'intégration des comportements humains dans toute étude HSI

Interruption des aides automatiques

L'analyse des accidents montre l'évidence du danger présenté par le manque d'habileté dans le pilotage direct (manuel) d'un pilote soumis au retrait soudain des aides au pilotage ou à la détérioration des commandes et gouvernes de vol.

H :

- Entretien du pilotage direct (manuel) avec conduite manuelle de la poussée (sans *Autothrust, AT*), en vol et au FFS
- Démonstration et récupération de PIO (Pilot Induced Oscillations)

S :

- Assurer un minimum de contrôle et de stabilité automatiques de trajectoire en cas de panne de systèmes ou de dégradation des systèmes de contrôle de vol
- Assurer la stabilisation du vol en déconnexion des automatismes
- Simplifier les actions de l'équipage dans les situations complexes ou ambiguës
- ✓ Education des bureaux d'études à l'intégration des comportements humains dans toute étude HSI

Approche des limitations du domaine de vol

Les problèmes majeurs se rencontrent à l'approche des incidences de décrochage aérodynamique, malgré les nombreux systèmes de prévention et de protection, insuffisants à l'expérience. On trouve à la fois une insuffisance des connaissances des phénomènes à haute incidence et des manœuvres de récupération, et une présentation inadaptée des problèmes (absence de présentation de l'incidence elle-même et alarmes saturantes mentalement).

H :

- Amélioration de l'enseignement des phénomènes aux hautes incidences, au sol et en altitude
- ✓ Démonstration de décrochage aérodynamique et de récupération au FFS

S :

- ✓ Présentation correcte de l'incidence
- ✓ Revue des alarmes correspondantes, de leur combinaison avec d'autres alarmes
- ✓ Education des bureaux d'études à l'intégration des comportements humains dans toute étude HSI

R :

- Introduction au FFS de données caractéristiques de décrochages réels, et adaptation du mouvement cabine

Surveillance et contrôle des systèmes

Emergent ici deux problèmes majeurs : maintien de la vigilance dans la surveillance des systèmes, et exécution et contrôle des actions en situation de panne sérieuse.

Maintien de la vigilance

Alors que les automatismes prennent de plus en plus en charge les tâches d'exécution, celles des pilotes s'orientent vers la gestion du vol, c'est-à-dire l'exploitation des paramètres à leur disposition pour en déduire des décisions qu'ils transmettront à leurs automatismes pour exécution. Ce genre de tâches nécessite des actions conscientes se succédant, ne présentant pas de problème sérieux en zones terminales de trafic aérien. En revanche en croisière, surtout dans les vols de longue durée, les pilotes n'auront rien d'autre à faire qu'à surveiller ce qui marche bien avec des systèmes fiables. Tout en devant réagir immédiatement à tout aléa sérieux dont la probabilité est loin d'être nulle.

D'où le problème du maintien de la vigilance qui est une limitation humaine au même titre que celles mentales déjà mentionnées, aussi mal connue que ces dernières.

H :

- Adoption des méthodes et moyens classiques de maintien de vigilance
- Pratique des contrôles croisés
- ✓ Education de la résistance à l'effet de surprise et au stress lors d'évènements inattendus potentiellement dangereux

S :

- Utilisation de l'IA pour la prévision, la prévention et la détection d'anomalies
- ✓ Education des bureaux d'études à l'intégration des comportements humains dans toute étude HSI

Situation de pannes sérieuses

Le système actuel ECAM apporte une aide précieuse dans le traitement des pannes et de certaines combinaisons de pannes de systèmes. Cependant, ainsi que signalé dans le dossier 49, ce système nécessite des améliorations importantes dans la détection des éléments dégradés, dans le tri et la présentation des actions à prendre, dans la présentation de ce qui reste utilisable, dans les configurations de dernier secours.

L'IA apportera des solutions à beaucoup de problèmes actuels.

On peut aussi étudier la faisabilité et la fiabilité des traitements automatique de combinaisons de pannes.

H :

- Entraînement pratique au traitement en équipage de pannes sérieuses (CRM approfondi)
- Connaissance des fonctions des systèmes et de leurs limitations
- Pilotage direct (manuel) en modes dégradés de commandes de vol et de poussée
- ✓ Formation au traitement sous stress de situations sérieuses

S :

- Utilisation de dessins et schémas dans les actions à suivre
- ✓ Education des bureaux d'études à l'intégration des comportements humains dans toute étude HSI
- ✓ En cas d'alarmes multiples, avoir un diagnostic global et une procédure synthétique dans un ordre logique mélangeant causalité et gravité (au lieu d'un assemblage de procédures en fonction d'une hiérarchisation basée sur la gravité des conséquences)
- ✓ Vérification de cohérence et de vraisemblance en situation de panne
- ✓ Amélioration ainsi que signalé des possibilités du système ECAM (dossier 49)
- ✓ Avoir une présentation synthétique des possibilités restantes après traitement des pannes

R :

- Recherches basiques sur la coopération entre l'humain (comportement) et les systèmes utilisant l'IA de haut niveau, et sur les limitations réciproques

8) Evolution de l'ATM

Dans les projets d'évolution de l'ATM, mise à part l'inévitable adaptation en connaissances et procédures aux avancées technologiques, on ne décèle rien d'important qui pourrait imposer aux pilotes des compétences autres que celles déjà répertoriées. Les nouvelles procédures telles que séparations diminuées, utilisation ou évitement des tourbillons de voilure, « free-routes », occupation limitée des pistes, procédures spéciales de départ et d'approche, seront prises en compte par des automatismes (IA).

Les problèmes éventuels de transfert de responsabilités entre sol et bord seront à traiter cas par cas.

Pour les pilotes il ne sera question que d'adaptation aux nouvelles manœuvres et procédures avec les compétences telles que déjà définies.

H :

- Connaissance des nouveaux des systèmes et des nouveaux risques (leurage, brouillage, cyberattaque)
- Formation à la détection de ces nouveaux risques
- Formation aux nouvelles manœuvres et procédures

S :

- Adaptation des systèmes aux caractéristiques ergonomiques et mentales humaines

9) Contraintes écologiques

bruit, trajectoires, décarbonation, conduite moteurs

L'influence sur les compétences humaines est identique à celle de l'évolution de l'ATC. Rien de particulier en dehors des connaissances nouvelles et de la formation aux procédures particulières.

H :

- Formation aux nouvelles procédures

S :

- Adaptation des systèmes aux caractéristiques ergonomiques et mentales humaines

10) Evolution technologique des aéronefs et de leur logistique : concepts aérodynamiques, énergie nouvelle (électricité, LH2)

Il est trop tôt pour avoir suffisamment de détails permettant une estimation correcte de l'influence de ces concepts technologiques sur l'évolution des compétences. Alors qu'on peut supposer qu'ils ne nécessiteront aucune autre compétence au-delà de ce qui a été déjà défini dans les chapitres précédents, en revanche

- il sera nécessaire d'appliquer pour les systèmes en jeu les recommandations citées dans les chapitres 1.4 à 1.7.

11) Evolution du concept SPO

Beaucoup a été dit dans les dossiers 42 et 49, il est inutile de tout rappeler.

En fait le SPO concentre sur lui tout ce qui est le plus difficile à obtenir et à entretenir comme compétences humaines, et comme performances/compétences des systèmes.

Quelques rappels.

Nécessité d'assistance

Le "pilote unique" doit être assisté dans certaines circonstances :

- incapacité totale ou temporaire ;
- situations à forte charge de travail ;
- situations dangereuses à évolution rapide ;
- surveillance (monitoring) ;
- perte de vigilance, sommeil ;
- action personnelle dangereuse ou acte terroriste.

La formation du pilote unique devenant immédiatement Commandant de bord est un défi, par l'obligation d'acquérir le niveau minimum d'expérience vécue en vol nécessaire à la qualité de la fonction de Commandant de bord.

Quelle assistance ?

En matière de sécurité les partisans du pilote unique appliquent le principe de transfert de risques.

Les ordres de grandeur des taux d'accidents en transport aérien sont 1 perte d'avion pour 1million de décollage dans le monde, et 0,3 en Europe. Cela semble être accepté mondialement.

Dans les accidents la part revenant aux faiblesses humaines reste stable autour de 70% des causes, avec des avions satisfaisant aux statistiques imposées par le règlement CS 25 1306.

Il est hautement probable que si l'on supprimait aujourd'hui un pilote dans le cockpit ces taux subiraient une croissance soudaine. En revanche, très schématiquement, l'idée est que si l'on supprimait ce pilote en améliorant statistiquement l'interface HSI on pourrait maintenir ces taux. Cela évidemment grâce à la solution de l'IA.

Le pari n'est cependant pas évident, ainsi :

- on ne parle pas trop de la difficile assistance par le sol, évoquée dans le chapitre 3) précédent ;

- l'assistance à bord reviendrait à avoir un « faux copilote », ayant la plupart des compétences exigées pour un copilote ;
- on ignore le taux de récupération de situations potentiellement dangereuses par les équipages à deux pilotes, des milliers de fois plus élevé que celui des déficiences observées dans les accidents ;
- on évoque le « copilote automatique », pur produit de l'IA, mais on est loin de connaître comment humain et système matériel intelligent vont se comprendre et coopérer dans des situations critiques.

En exploitant ce qui a été développé dans les dossiers précités on arrive à la solution d'un monopilote dont les compétences satisfont parfaitement aux conditions énumérées dans les chapitres précédents, mais *dans un avion entièrement autonome* pour les cas d'assistance énumérés plus haut. Au vu des intentions de l'EASA citées au chapitre I.7, garante de la sécurité, cela prendra du temps.

Les pilotes au sol

On a déjà vu en 3) qu'il s'agit de professions nouvelles, tenant à la fois d'un copilote qualifié sur de nombreux types d'avion et d'un gestionnaire de trafic aérien par exemple lorsqu'il gère plusieurs avions en approche. Rien n'étant défini il ne serait pas sérieux d'en parler. Cependant on peut commencer à observer les pilotes et télépilotes de gros drones.

12 – Autres fonctions des pilotes

Fonction d'instructeur

Avec l'avènement du numérique dans les années 80 certains pensaient pouvoir se passer d'instructeurs humains, tout comme aujourd'hui on pense pouvoir se passer de pilotes humains. On déchantait très vite car un enseignement consiste à passer des ensembles de savoirs souvent complexes à des personnes dont les possibilités ne sont pas (ne peuvent pas être par nature) exactement « accordées » au type de pédagogie adopté ni à la manière de présenter les sujets. Un ajustement personnalisé s'avère nécessaire avec une liaison humain-humain. Et là, l'intervention de l'instructeur est indispensable.

Donc pour un instructeur la compétence pédagogique est nécessaire, faisant appel à une sélection appropriée et à une formation spéciale. Cela n'a rien de nouveau.

En revanche on doit le former à enseigner tout ce qui a été défini précédemment.

Autres fonctions

Il s'agit là de fonctions assignées au cas par cas, suivant une sélection d'après des capacités observées, telles que responsable des opérations aériennes, responsable de sécurité, etc.

Les compétences demandées sont bien définies et ne nécessitent pas ici une étude particulière.

3 – SYNTHÈSE

Rappel

La réflexion sur l'évolution des compétences se place en continuité des réflexions académiques débutées en 2013 sur l'évolution de l'aéronautique civile, avec sa tendance majeure vers l'autonomie.

Les hypothèses adoptées ont donc pour objectif la période autour de 2050, les événements actuels montrant le risque important d'erreurs d'appréciation au-delà de cette date.

De plus l'étude présente se limite à l'évolution de la seule population des acteurs responsables de la gestion directe des vols, du fait des contraintes très particulières imposées à cette gestion, surtout temporelles. Les pilotes (à bord ou au sol) sont pris en référence.

Parmi la multitude de facteurs influant sur l'évolution des compétences, un choix s'est porté sur 12 d'entre eux, dont l'ensemble représente une généralité des tendances observées, utilisable pour une analyse.

Les analyses détaillées conduisent à des résultats concrets, parfois surprenants, souvent difficiles d'application.

Obligation de traiter simultanément l'Humain et les Systèmes qu'il doit gérer

L'adoption du concept Humain/Systèmes Intégration, HSI, est une obligation incontournable. Son application aux compétences, ainsi que le montrent les analyses élémentaires des chapitres précédents, revêt un aspect anthropologique surprenant pour notre culture technique. Dans l'alliance Humain<->Systèmes les performances/compétences des uns doivent être compatibles avec les performances/compétences des autres pour effectuer de concert les tâches assignées.

Plus précisément les limitations humaines doivent être compensées par des performances accrues des systèmes, et non l'inverse comme on l'a fait jusqu'à présent. Ceci est d'autant plus exigeant, avec la complication des tâches, que l'amélioration des performances humaines n'est concevable que de façon très limitée par l'éducation et la formation, alors que la technologie offre la possibilité de larges améliorations dans les comportements/performances des systèmes associés.

Ces exigences de compétence des systèmes rendent obligatoires des compétences spéciales chez les acteurs impliqués dans leur conception comme l'exige l'application du concept HSI.

Compétences côté Humain

Dans l'évolution vers le renforcement des automatismes/prothèses, l'évolution des performances humaines concrétisée par celle de ses compétences est limitée par la nature stable de l'humain, d'où l'orientation vers l'autonomie de systèmes plus évolutifs par nature, de l'avion en particulier, diminuant le recours à cet humain limité par nature.

Noter que majoritairement cette orientation suit le principe de laisser à l'humain ce qu'il fait mieux que les automatismes, le choix de décisions critiques par exemple.

Maintien, renforcement de compétences de base

La pratique des instruments personnels de communication et d'information (portables, PC,...) et celle à bord des automatismes amène la disparition de savoir-faire de base, tels que par exemple calcul mental et pilotage manuel. L'analyse des incidents et accidents montre clairement que, dans les moments critiques de disparition des aides automatiques, la diminution de la pratique de ces fonctions directes peut avoir des conséquences catastrophiques.

Ces compétences sont à maintenir tout au long de la carrière.

En matière de connaissances et de savoir-faire particuliers, des déficiences permanentes sont constatées et conduisent parfois à des catastrophes. C'est le cas du dépassement des limitations d'incidence et de perte de contrôle en vol par méconnaissance des principes de la mécanique du vol, des phénomènes aérodynamiques dangereux, et des manœuvres de récupération de situations critiques. Le renforcement des compétences liées à ces points est vital.

Conscience de situation

Dans l'évolution de situations potentiellement dangereuses l'acquisition rapide de la conscience de situation est une compétence vitale.

Aujourd'hui on connaît de mieux en mieux les mécanismes mentaux de cette acquisition. Elle passe par l'éducation du comportement à la résistance au stress de la surprise, de l'inattendu. Admettre la nécessité de l'éducation de ce comportement est relativement récent.

La formation de base des pilotes comporte l'enseignement des limitations physiologiques humaines, parfois avec des démonstrations pratique. C'est à compléter par l'enseignement des limitations mentales (stress, focalisations, défaut de vigilance, ...), avec exercices pratiques de reconnaissance des déficiences et de correction de leurs effets.

Dans ce registre on peut mentionner le renforcement nécessaire de la pratique dans l'anticipation du déroulement des actions à mener, et dans celle du balayage visuel des paramètres de vol avec leurs comparaisons croisées.

Toujours au sujet de la pratique, les systèmes peuvent également contribuer à apporter une vision anticipée de situation permettant de soulager l'humain et de lui éviter des effets de surprise. Outre l'IA pouvant offrir des solutions optimisées à des situations complexes non prédéfinies de façon procédurale, des logiques de type « what-if » devraient permettre d'offrir de telles visions anticipées de la situation dans un futur plus ou moins proche, minimisant ainsi les risques de surprise et diminuant le délai de prise de décision.

Compétences nouvelles

Il s'agit d'une orientation vers l'augmentation de l'usage des automatismes et vers la pratique de procédures dictées par les variations dans l'environnement opérationnel. Cela relève de façon classique de la formation, adaptée aux changements dans les missions et les systèmes.

Savoir (connaissances)

- Acquisition de la connaissance des fonctions des systèmes nouveaux et de leur gestion par la pratique en modes normaux et dégradés.

- Connaissances de base des caractéristiques opérationnelles et environnementales nouvelles (ATC, contraintes écologiques, nouveaux carburants, nouvelles configurations d'aéronef, etc...)

Savoir-faire (règles et procédures)

- Pratique de situations inattendues potentiellement dangereuses (simulation)
- Education à la gestion de la mission et des systèmes. Entretien de la vigilance.
- Pratique des procédures nouvelles (ATC et autres).

Savoir-être (comportement)

- Renforcement de la pratique d'aide mutuelle à bord (CRM)
- Pour le SPO la pratique d'aide et de compréhension mutuelle entre bord et sol est une nécessité
- Résistance au stress
- Pratique de l'estimation des risques.

Monopilote à bord

Cette configuration nécessite pour le pilote à bord l'acquisition et/ou le renforcement de toutes les compétences mentionnées ci-dessus.

Son assistance nécessite soit une intervention extérieure, soit la complète autonomie de son aéronef, soient les deux ensemble.

Il s'agit d'une étude particulière allant au-delà de celle des simples compétences.

Compétences/performances côté systèmes

Si l'humain est limité par nature, en revanche désormais la technologie autorise les systèmes à compenser ses limitations et à aller au-delà.

Mais ici on adopte le principe de laisser à l'humain ce qu'il fait mieux que les systèmes, et de laisser aux systèmes ce qu'ils font mieux que l'humain. Cela en tenant compte de l'avancée permanente de la technologie, donc de la décline progressive de certaines actions humaines directes au profit de nouvelles, en allant vers l'autonomie des avions.

Evolution des performances

Les fonctions des automatismes ont évolué, dans la combinaison de diverses tendances et exigences, de façon générale en tant que prothèses placées entre l'exécution des missions de transport aérien et l'action des pilotes en charge de leur bonne exécution.

Lorsqu'il n'était pas possible, techniquement et/ou financièrement, de bien ajuster ces prothèses à l'humain on comptait sur l'adaptation physiologique et cognitive des pilotes pour compenser les déficiences. C'est ce qui s'est passé jusqu'à présent avec les avancées spectaculaires en ergonomie d'interfaçage dans les cockpits.

Mais aujourd'hui on s'aperçoit qu'avec l'augmentation continue de la complexité des systèmes il est nécessaire de s'occuper de l'adaptation au comportement des pilotes, non seulement dans l'utilisation des fonctions et combinaisons de fonctions des automatismes mais aussi dans la maîtrise des aléas opérationnels d'où qu'ils viennent, avec ou sans l'aide de ces automatismes suivant les situations.

Cette nécessaire prise en compte des comportements humains, avec leurs limitations mentales, change la nature de la coopération pilotes/aéronef en obligeant l'intégration des actions combinées pilote <-> systèmes, avec leur compréhension réciproque.

Dualité des compétences

On arrive ainsi à considérer les compétences des automatismes/prothèses dans l'intégration de leurs fonctions aux tâches assignées aux pilotes. On peut aussi continuer à parler de performances des systèmes en adaptation aux caractéristiques humaines, ce qui ne change rien à la réalité de la situation. Mais faudrait-il éviter de parler de compétence avec l'usage de l'IA de haut niveau ?

Les analyses du chapitre 2 ci-dessus montrent bien la nécessité d'agir sur les systèmes pour être en phase avec l'humain.

Jusqu'à présent les automatismes ont effectué des tâches prédéfinies permettant de soulager l'humain dans ses tâches. Dans le futur, les évolutions de ces automatismes permettront de le soulager également dans ses anticipations et ses prises de décisions.

Orientation des actions à mener

Bien sûr dans la conception des systèmes et des procédures opérationnelles on essaie depuis longtemps de tenir compte de l'interfaçage avec les pilotes. Les méthodes sont éprouvées, s'appuyant sur des règles strictes et sur l'estimation de la probabilité d'occurrence d'aléas connus.

Cela fonctionne bien, le faible taux d'accidents en apportant la preuve. Mais l'analyse de ce faible nombre d'accidents montre l'existence de déficiences amenées à croître avec l'exigence d'une coopération de plus en plus étroite entre les pilotes et les systèmes qu'ils doivent gérer, qui les assistent ou qui les remplacent.

L'interfaçage est bien étudié en matière d'ergonomie physiologique et cognitive, avec cependant d'importants défauts impactant la sécurité, par exemple ceux mentionnés au chapitre 1.5 : protection insuffisante des limitations en incidence, saturation mentale par les alarmes, difficile tri d'informations majeures en situations d'évolution rapide, confusions dans l'utilisation de modes dégradés d'automatismes, procédures inadaptées aux temps requis d'exécution, surveillance des systèmes mise en défaut par des problèmes de vigilance...

Ces déficiences concernent principalement le comportement des pilotes, surtout leurs limitations mentales. En conséquence l'amélioration des performances de ces pilotes, de leurs compétences, n'est plus de mise. Il s'agit d'améliorer ce qu'il est possible d'améliorer, les performances des systèmes, leur aptitude (compétence) à dialoguer et à coopérer avec l'humain des pilotes. L'augmentation constante de l'usage de l'IA accentue ce besoin.

Ici se place la nécessaire évolution des compétences des systèmes, c'est-à-dire la prise en compte du comportement humain avec ses difficultés. Les caractéristiques ergonomiques physiologiques sont quantifiables, donc peuvent être traitées techniquement. De même pour certaines caractéristiques cognitives. En revanche aucune caractéristique quantifiable de comportement opérationnel n'existe encore. C'est très probablement faisable, mais reste difficile sinon il existerait déjà des références utilisables.

Actions générales et particulières

Des études sont à mener pour bien caractériser le comportement humain et pour l'introduire comme référence des performances (donc des compétences) à exiger des systèmes.

Aujourd'hui les règlements tiennent compte des comportements de façon pragmatique, se basant qualitativement sur l'expérience. Le résultat est très imparfait mais il faut poursuivre cette méthode aussi longtemps qu'on n'aura pas de quantification utilisable.

L'important est l'obligation pour les concepteurs de systèmes de la nécessaire prise en compte du comportement humain pour son intégration dans l'exécution combinée des tâches. Mais il s'agit du comportement et des compétences des populations réelles mondiales de pilotes devant gérer les systèmes, avec leurs compétences réelles. L'oubli de cette obligation amène des catastrophes comme l'ont montré les accidents de B737Max.

L'application à la correction des défauts mentionnés au chapitre précédent implique des changements majeurs dans les standards et dans les matériels, peut-être avec des rattrapages dans les flottes d'avions existants. Ce qui signifie que les changements n'interviendront réellement que lorsque les autorités les imposeront. L'attitude de l'EASA reportée au chapitre 1.7 au sujet de l'IA est un signe favorable à cette évolution.

Vers l'autonomie

Nous avons vu que la configuration monopilote, supprimant la redondance de compétences que comporte l'équipage à deux, exige le remplacement du pilote manquant soit par un copilote au sol, soit par des automatismes compétents, mais de toute façon avec un avion capable d'autonomie.

Les compétences de ces substituts, humains ou automatismes, seront au minimum celles des copilotes actuels dont les performances participent annuellement à la résolution de milliers de situations potentiellement dangereuses. Pour que le niveau de sécurité actuel avec l'équipage à deux ne soit pas détérioré par le retrait d'un membre et par l'autonomie de l'avion, la connaissance de ces milliers de cas est nécessaire afin de bien définir les compétences des systèmes substituts.

Références

- AAE, 2013, Dossier 37, « Le traitement des situations imprévues en vol »
- AAE, 2013, Dossier 38, « Comment volerons-nous en 2050 ? »
- Pinet, J. (2015). Facing the unexpected in flight: Human limitations and interaction with technology in the cockpit. CRC Press – Taylor & Francis Group.
- AAE, 2018, Dossier 42, « Aviation plus automatique, interconnectée, à l'horizon 2050 »
- AAE, 2020, Dossier 49, « Situations inattendues »
- Boy, G.A. (2020). Human Systems Integration: From Virtual to Tangible. CRC Press – Taylor & Francis Group.