

CONTEXTE

Le PEA MMT (Man Machine Teaming), dans lequel s'inscrivent les appels qui seront gérés grâce à ce règlement de consultation, a pour objectif la constitution d'une base technologique française supportant le développement d'une nouvelle relation entre les hommes et les systèmes au sein du système de combat aérien du futur.

PRESENTATION GENERALE

Dans le cadre de la définition du Système de Combat Aérien Futur, le projet Man Machine Teaming explore la possibilité de développer un **Système Aérien Cognitif de Combat**. Le principe de ce dernier est de doter les différents systèmes-machines de plus **d'autonomie** et **d'intelligence artificielle** au service d'une **relation Homme-Machine** élargie et repensée. Dans cette perspective, ces systèmes intelligents ne se limiteraient plus seulement à la simple exécution des actions demandées par un opérateur. Ils permettraient un **travail collaboratif** qui rendrait les actions et décisions des opérateurs plus efficaces et performantes tout en économisant les ressources mentales et physiques de ces derniers.

Pour ce faire, ces systèmes seraient dotés d'une connaissance accrue des situations à l'aide notamment de différents moyens de perception et d'analyse (état des opérateurs, interactions, prédiction des intentions des acteurs, situations tactiques de combat, etc.). Cette capacité permettrait aux systèmes **d'apprendre des situations rencontrées**, de **s'adapter en conséquence** et de partager les informations pertinentes afin d'apporter une aide à la prise de décision et à la planification des opérateurs. Pour garantir un haut niveau de performance, gage du succès des missions, ce Système Aérien Cognitif intégrerait également de nouvelles modalités d'interactions plus naturelles et adaptées aux situations rencontrées par les opérateurs.

Dans ce contexte, le rôle du projet MMT est **d'initialiser l'identification des technologies susceptibles d'être intégrées à ce Système Aérien Cognitif**. Dans le cas où celles-ci ne seraient pas assez matures, MMT a pour mission d'aider à les développer. L'une des originalités de ce projet, est l'ambition de réaliser ces développements technologiques en collaboration avec un **écosystème français** de startups, PME et organismes de recherche déjà impliqués dans l'exploration, l'utilisation ou la production de ces technologies émergentes.

Afin de structurer cette démarche, le projet MMT se décompose en **6 axes de développements technologiques** (voir Figure 1) : (I) Assistant Virtuel & Smart Cockpit, (II) Interactions, (III) Gestion de la Mission, (IV) Capteurs Intelligents, (V) Services Capteurs et (VI) Mise en Œuvre & Soutien.

**Figure 1 : Les axes du projet MMT**

Une description plus détaillée de chacun de ces axes est présentée plus bas. L'objet est de permettre au proposant de positionner son offre. En effet, Les appels qui seront proposés lors des consultations s'inscrivent dans les thèmes décrits ci-dessous (par exemple le thème L01-T01 correspond à l'identification du contexte par l'assistant virtuel).

L01 - ASSISTANT VIRTUEL et SMART COCKPIT

Présentation

L'axe de développement technologique « Assistant Virtuel et Smart Cockpit » porte sur la conception d'un cockpit plus intelligent, intégrant un agent appelé Assistant Virtuel, qui permettra d'**augmenter les capacités opérationnelles** de l'ensemble équipages-systèmes.

Afin d'améliorer la performance et d'économiser les ressources mentales et physiques des équipages (pilotes de chasse ou opérateurs de drones), le smart cockpit (ou la smart station de contrôle de drone depuis le sol) exploré dans le projet MMT devra tout d'abord être capable de **s'adapter en permanence** à la situation dans son ensemble. Pour cela, il est nécessaire que le système ait une **connaissance accrue** des différents **états des équipages** (e.g. mentaux, physiques) ainsi que du **contexte de la situation** (e.g. Situation TACTique rencontrée, manœuvres enclenchées). Cette connaissance, couplée aux interactions des équipages, devra permettre de modifier l'environnement d'interaction afin de répondre aux besoins de la mission **dans les meilleures conditions**.

L'avion piloté ou le drone de combat, au centre de ce système de combat futur, seront dotés de fonctionnalités supplémentaires augmentant l'étendue de leurs capacités. Pour cela, une des pistes est d'intégrer un assistant virtuel qui interagira de façon simplifiée et naturelle avec l'équipage. Cet assistant virtuel pourra, par exemple, réaliser des opérations de bas niveau coûteuses en ressources cognitives et sans réelle plus-value opérationnelle pour permettre à l'équipage de se consacrer pleinement à la gestion tactique de la mission ou encore, d'accéder facilement et rapidement aux connaissances du système (e.g., requête libre en langage naturel) pour faciliter une meilleure construction par l'équipage de la conscience de la situation.

Ainsi, ce smart cockpit libèrera des ressources mentales et physiques chez les équipages tout en les assistant intelligemment, ceci afin d'optimiser la conduite générale de la mission.

Définition des Thèmes

La liste suivante identifie les grandes thématiques de l'axe « Assistant Virtuel et Smart Cockpit ». Cette liste est non-exhaustive et pourra être enrichie par la suite.

T01 - Identification du contexte

La thématique « identification du contexte » fait référence à l'analyse et la compréhension en temps réel de la situation par le système. Cela comprend principalement l'identification de la situation opérationnelle dans laquelle se trouve l'appareil (aéronef habité ou non) et l'identification des actions en cours de réalisation par les équipages. Une des problématiques porte sur la modélisation de ce contexte et la définition du bon niveau de granularité de ces informations. Cela permettra au système d'avoir connaissance de la situation, de s'adapter (cf. T03) ou d'enrichir les interactions avec les équipages (cf. L02).

T02 – Apprentissage du profil utilisateur

La thématique « apprentissage du profil utilisateur » porte sur un apprentissage par la machine des habitudes des équipages ainsi qu'une identification du profil de ces derniers. Le profil utilisateur correspond tant au niveau d'expertise qu'à l'expérience des équipages sur d'autres systèmes. Par exemple, un pilote de Mirage n'a pas forcément les mêmes habitudes que son homologue sur Rafale. Ainsi l'identification de ces différences interpersonnelles pourrait servir de base pour affiner et optimiser l'adaptation du système.

T03 – Identification de l'état opérationnel de l'équipage

Cette thématique concerne les différentes techniques permettant d'identifier la capacité d'un équipage à réaliser les tâches de sa mission. Il s'agit donc de recouper les différents états cognitifs et physiologiques de l'équipage avec les tâches à réaliser et le contexte de la mission (par exemple, quel est le niveau de danger de l'environnement tactique, ou encore quelles sont les conditions météo...). Cette thématique porte donc à la fois sur la définition de ces différents états opérationnels et des métriques associées et sur les techniques de classification de ces états au regard des tâches à réaliser.

T04 - Adaptation des tâches équipage et reconfiguration cockpit

Cette thématique s'intéresse aux adaptations contextuelles intelligentes du cockpit. En effet, les systèmes ont accès à de plus en plus d'informations portant sur le monitoring des équipages, ainsi que l'analyse et la compréhension de la situation. Il devient donc possible de concevoir un système qui s'adapterait automatiquement à ces éléments contextuels pour optimiser l'activité des équipages et garantir ainsi un haut niveau de performance, d'efficacité et d'efficience. Cette thématique concerne donc les reconfigurations du système en général et l'apprentissage automatique de ces reconfigurations. Il s'agit par exemple d'adapter l'allocation des tâches équipages en fonction du contexte (par exemple, augmenter le niveau d'autonomie du système), ou bien de reconfigurer globalement le cockpit (reconfiguration IHS ou reconfiguration système).

On distingue trois critères permettant d'adapter le cockpit :

- En fonction de l'état des équipages : L'objectif est notamment d'éviter que les équipages se retrouvent dans des états précurseurs de perte de performance dans le pilotage ou la prise de décision. Le cas échéant, cela peut également comprendre des méthodes permettant d'aider les équipages à sortir de ce genre d'état afin de

revenir à état de maîtrise optimal de la situation. (ex : définition des reconfigurations du système adaptées à l'état courant de l'équipage, répartition des tâches entre l'équipage et le système, partage d'autorité, feedbacks/notifications innovant(e)s pour informer les équipages de leur état et de l'adaptation des systèmes).

- En fonction du contexte/de la situation : L'objectif est de permettre l'adaptation des systèmes en termes d'affichage d'informations, de répartition des tâches, de partage d'autorités, ou autres en fonction de l'évolution en temps réel de la mission, de la situation ou des actions des équipages (cf. T01),
- En fonction du profil de l'utilisateur : L'objectif est d'adapter et d'optimiser l'utilisation du système (affichage d'informations, répartition des tâches, partage d'autorités, etc.) en fonction des habitudes ou de l'expérience de l'utilisateur (expertise de vol, expérience sur différents types d'avions, etc.) (cf. T02).

T05 - Prédiction des intentions des équipages

La thématique « prédiction des intentions des équipages » concerne les outils d'anticipation des intentions des équipages (court/moyen/long terme) de façon à faciliter l'enchaînement des tâches de la mission. Ces outils pourraient s'appuyer sur un processus d'apprentissage (mono/multi opérateur/pilote(s)) ainsi qu'une analyse en ligne des interactions avec les équipages et du contexte de la mission. L'objectif est ainsi d'aider l'équipage à gérer les actions nécessaires au bon déroulement de la mission et potentiellement de suggérer des actions complémentaires.

T06 - IA transparente

Alors que les systèmes embarquent de plus en plus de systèmes d'aide, de fonctionnalités et deviennent ainsi de plus en plus capables d'épauler intelligemment l'opérateur dans son activité, une des conséquences est l'augmentation de la complexité de ces systèmes. Notamment, l'introduction d'algorithmes d'intelligence artificielle dans le système a tendance à créer des "boîtes noires" qui ne permettent pas, a priori, d'expliquer facilement les choix du système. Dans ce cadre-là, cette thématique s'intéresse à tout ce qui pourrait permettre de rendre plus transparent et de justifier les traitements complexes faits par la machine notamment pour les systèmes d'aide à la décision. Par exemple, lorsque la machine propose à l'équipage une liste réduite de choix, il est nécessaire de présenter les raisons ou critères qui ont mené à cette proposition de choix de manière transparente et structurée. Ainsi cela doit permettre à l'équipage d'améliorer sa conscience de la situation et d'éviter de prendre des décisions sous-optimales.

T07 - Gestion du dialogue naturel avec l'assistant virtuel (accès à la connaissance)

Cette thématique porte sur la gestion du dialogue entre l'assistant virtuel et les équipages de sorte à ce que les demandes formulées naturellement par ces derniers puissent mener au résultat escompté. Ces demandes pourraient être formulées directement en direction du système ou identifiées dans un flux de discussion intra ou inter-équipage.

Les problématiques concernent donc :

- la compréhension de l'intention sémantique d'une requête formulée en langage naturel « équipage »
- la gestion d'un dialogue cohérent des activités de conduite de la mission de l'équipage

- ainsi que la génération automatique de réponses en langage naturel « équipage » à partir des éléments de connaissance identifiés comme pertinents

Une des étapes cruciales est la transformation de la signification sémantique des demandes orales des équipages en requêtes permettant l'accès aux informations connues de la machine. De cette manière, les recherches d'informations, qui sont des actions complexes pour l'opérateur, seraient effectuées par l'assistant virtuel, facilitant ainsi l'accès aux connaissances des systèmes. Cela permettrait d'économiser les ressources nécessaires à ces recherches, et permettrait un accès plus rapide et fréquent à un nombre important d'informations augmentant par conséquent la conscience de la situation des équipages.

T08 – Représentation de la connaissance (locale ou globale)

Cette thématique concerne la structuration des connaissances accessibles par le système de sorte à garantir un accès aux informations rapide, sécurisé et résilient. Le système de combat futur enregistrera et aura accès à un nombre très important d'informations de différentes natures (e.g. la connaissance du système aérien lui-même, de la patrouille, de la SITAC ; la connaissance des règles d'engagement ; la connaissance de la météo ; etc.). Pour permettre aux équipages d'accéder de manière efficace, efficiente et satisfaisante aux informations dont ils ont besoin, cette base de connaissances doit être organisée et structurée de manière optimale. Cela signifie par exemple stocker, classifier et organiser les informations pertinentes et mettre en relation des connaissances hétérogènes. Cette thématique concerne donc les techniques de représentation de la connaissance, ainsi que de structuration et de répartition de cette connaissance au sein du dispositif. Elle concerne également les différentes techniques d'apprentissage permettant d'enrichir cette base de connaissance à la suite de missions.

L02 - INTERACTIONS

Présentation

Dans le domaine Interactions des plates-formes aéronautiques, les années 90 ont été l'avènement d'un niveau de modernisation autour du glass cockpit (la planche de bord tout écran est un terme désignant les postes de pilotage modernes où les instruments analogiques à aiguille ont été remplacés par des écrans), des moyens d'interactions en rupture (tactile notamment) et des viseurs/visuels de casque. Le début des années 2000 a principalement permis des optimisations des Interfaces Homme Machine sans évolution significative des cockpits.

Par exemple, le cockpit du Rafale a conservé son organisation initiale avec :

- des affichages et interactions court terme : commandes HOTAS (Hands On Throttle-And-Stick) et CTH (Collimateur Tête Haute) collimaté à l'infini permettant le pilotage et la conduite de mission Eyes Out ;
- des affichages et interactions moyen terme : alidade (curseur déplacé par l'équipage sur les écrans) et CTM (Collimateur Tête Moyenne). Le CTM est collimaté à quelques mètres pour diminuer le travail oculaire lors du passage du CTH au CTM. Ces éléments permettent de réaliser les actions moyen terme autour de la SITAC (Situation TACTique) ;

- des affichages et interactions long terme : commandes tactiles et VTL (Visu Tête Latérale) pour la (re)préparation de la mission et des armements ainsi que le contrôle des systèmes de l'avion.

Dans le contexte actuel de complexité opérationnelle accrue conduisant à un besoin de ressources cognitives important, l'équipage peut devenir un facteur limitant de l'emploi des systèmes.

Par ailleurs, la réduction de la complexité perçue par l'utilisateur devient cruciale. Plusieurs ruptures peuvent être explorées :

- une redéfinition de la RHS (Relation Homme(s)-Système(s)) par la recherche de moyens garantissant l'efficacité de l'équipage ;
- la prise en compte d'une dimension collaborative de la RHS ;
- la mise en œuvre centralisée et supervisée de moyens de présentation et d'interactions intuitives, multimodales voire immersives.

Définition des thèmes

T01 - Monitoring de l'équipage

La thématique « monitoring de l'équipage » porte sur la surveillance en temps réel des états des opérateurs (État physiologique et Cognitif de l'équipage) impliqués dans le système considéré (pilotes, navigateurs mais également opérateurs drones, contrôleur aérien, etc..). Les éléments d'intérêt à surveiller sont notamment l'incapacité de l'opérateur (partielle telle que la désorientation spatiale ou totale), l'hypovigilance, la tunnelisation attentionnelle, le niveau d'engagement attentionnel, la charge mentale, le stress et la conscience de la situation.

Cette thématique est une des entrées utilisée par le thème « L01-T03 – Identification de l'état opérationnel de l'équipage ».

L'analyse du comportement, des marqueurs neurophysiologiques, des indicateurs de performance des opérateurs et des capteurs embarquables dans un avion d'arme sont donc concernés par cette thématique.

T02 - Dispositifs d'interaction

La thématique « *dispositifs d'interactions* » porte sur les périphériques innovants permettant de nouvelles formes d'interactions.

On trouvera par exemple l'étude :

- de représentations visuelles 3D voire 5D qui combinent la présentation des informations dans les 3 dimensions géographiques avec des dimensions supplémentaires telles que le temps et la consommation des ressources (ex : fuel) ;
- de la réalité augmentée et de ses interactions, notamment pour la collaboration entre la tête haute (EYES OUT) et la tête basse (EYES IN) ;

- de technologies d'imageurs pour une utilisation tête basse telles que les grands écrans reconfigurables, de forme libre (courbure/contour libres) et pour une utilisation tête haute telles que des imageurs holographiques.

T03 – Interactions multimodales

L'objectif est de combiner des modalités d'interaction (eye tracking, gesture, direct voice input, reconnaissance d'écriture, synthèse vocale, dialogue langage naturel, etc.) afin d'optimiser la prise en compte des actions des opérateurs. La multimodalité permettrait de gagner en sécurité, résilience et précision (e.g. touché de Midas) en levant l'ambiguïté sur les intentions de l'opérateur.

Une des problématiques porte sur la conception d'une plateforme multimodale qui devrait offrir la possibilité d'ajouter de nouveaux moyens d'interaction sans remettre en question l'architecture.

T04 – Dialogue et interactions naturels

L'objectif est l'étude des formes de dialogue « écologiques¹ » entre tous les acteurs du système (Opérateurs au sol, Opérateurs embarqués, Assistants virtuels). On voit apparaître des notions telles que les interfaces orientées vitesse, les interfaces collaboratives (partagées entre tous les acteurs) et les dialogues entre l'équipage et la machine en incluant tout ce qui permet d'interagir en confiance avec une IA.

T05 - Reconnaissance vocale et synthèse vocale

Une des modalités d'interactions les plus naturelles pour l'Homme est la communication orale. Le développement des systèmes de reconnaissance vocale et de synthèse vocale est à étudier dans les environnements particulièrement bruités tel qu'un cockpit d'avion de chasse. L'utilisation d'accentuations et d'intonations spécifiques pourrait être envisagée avec comme objectif de contextualiser le message à faire passer.

T06 – Remote cockpit

La dimension collaborative de la Relation Homme(S) Système(S) amène à des contrôles à distance des systèmes.

Le contrôle à distance déjà existant est celui des drones depuis une station sol. Une première question à instruire va donc être : Que retenir dans les interactions embarquées pour un opérateur sol d'un drone ?

Nous souhaitons étendre cette notion de contrôle à distance et réfléchir à la prise de contrôle par le pilote d'un chasseur des capteurs, de l'armement voire du pilotage d'un autre appareil (chasseur ou drone). Il s'agit donc d'imaginer les techniques d'interactions et de représentation d'un système collaboratif en s'inspirant, par exemple, des techniques utilisées dans les jeux vidéo multi utilisateurs.

¹ Une interaction écologique utilise le moins de ressources possibles : on cherche à ne pas utiliser trop de charge cognitive de l'opérateur

L03 - GESTION DE LA MISSION

Présentation

Si les autres thèmes concernent principalement la gestion du SCAF et des humains qui y participent, le thème de la gestion de mission est lui extrêmement lié à la capacité pour le SCAF à **décider de son comportement** à venir avec une **gestion locale aux plateformes** mais aussi une **gestion globale du dispositif**.

La Figure 2 illustre, pour un exemple de mission d'attaque au sol derrière les lignes ennemies, quelques-unes des fonctions techniques qui seront potentiellement introduites afin de répondre plus précisément aux défis posés par le SCAF dans le domaine de la gestion de la mission.

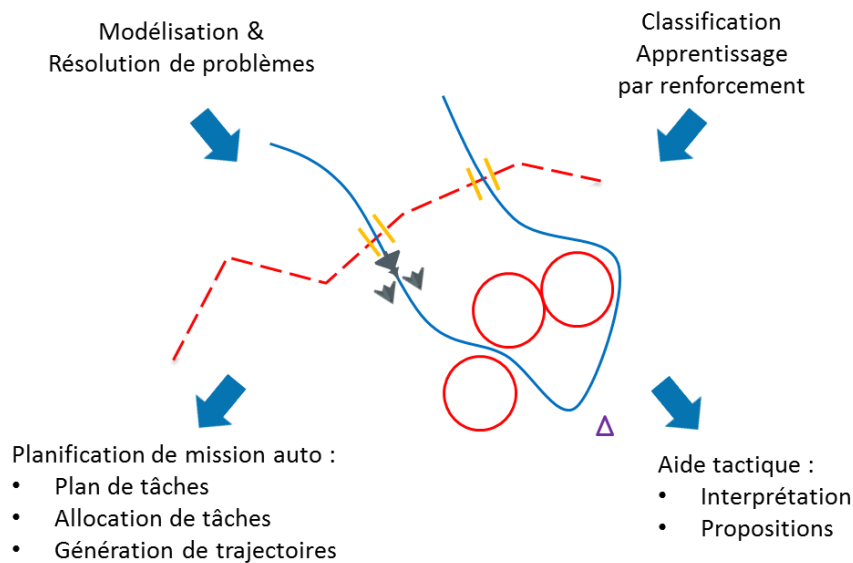


Figure 2 : Fonctions techniques pour la gestion de mission

Au sein d'un système, la gestion de mission est responsable de :

- **planifier** les actions à réaliser pour chacun des acteurs à partir de la définition de la mission (liste d'objectifs) ;
- **exécuter automatiquement** ce plan en maintenant l'homme dans la boucle ;
- **adapter le plan d'action** intelligemment en fonction des aléas pouvant survenir tout au long de la mission et en fonction de **règles d'engagement**.

La gestion de mission autonome doit se faire en **relation avec les équipages** :

- au niveau de la **proposition de plans** qui doivent être **justifiés** et élaborés en **collaboration** avec ce dernier ;
- au niveau de **l'exécution du plan**, en configurant automatiquement les sous-systèmes pour que ces derniers soient utilisés au maximum de leurs performances.

Définition des thèmes

T01 - Planification des actions du système mixte²

Ce thème fait référence à tout ce qui permet de définir des plans d'action pour les acteurs du dispositif à partir d'objectifs de haut niveau. On s'intéressera à la modélisation de problème ainsi qu'aux techniques de résolution permettant d'optimiser des plans de tâche multi acteurs.

Tout ceci doit prendre en compte de multiples contraintes que ce soit la prise de risque, l'efficacité, la stabilité, la robustesse de ces plans et le lien vis-à-vis des actions que l'homme devra réaliser.

Enfin il faudra aussi s'intéresser à la justification des prises de décision du système artificiel lors des calculs de plan, aux processus de validation de tels algorithmes, ainsi qu'à l'embarquabilité de tels algorithmes qui devront s'exécuter en temps réel directement au sein des acteurs concernés.

T02 - Interprétation de la situation tactique

Dans ce thème on s'intéresse à tout ce qui permet à partir d'informations sur le comportement des acteurs connus de l'environnement d'identifier leurs intentions pour en déduire un niveau de dangerosité, voire anticiper leurs comportements.

Cette analyse comportementale peut amener, en fonction de règles d'engagement connues, à une prise de décision d'adaptation du plan voir de proposition de nouvel objectif.

T03 – Suivi de l'exécution de la mission, transmission des informations

Le suivi de l'exécution de la mission comprend non seulement le suivi des actions automatiques réalisées par le système mais aussi l'estimation de leur réussite. En effet, pour certaines actions la réussite n'est pas immédiatement visible et il faut analyser l'environnement pour en voir les effets (e.g. une cible a-t-elle été neutralisée par la bombe qui a été larguée ?) et déterminer si les objectifs sont bien réalisés.

De même le suivi des actions de l'homme est important car cela permet de déterminer si les actions dont il a la charge sont bien réalisées. De même, dans le cas où il utilise des ressources nécessaires au système on peut déterminer si ce dernier n'est pas en train de réaliser lui-même une action que le système avait prévu de réaliser (e.g. pointer un capteur sur une cible).

Dans le cas où le suivi des actions n'est pas considéré comme nominal, une mise à jour des plans d'actions pourra être demandée.

Dans un cadre contraignant de communications, l'envoi des informations pertinentes à l'opérateur est une problématique de fond. Il est donc important d'étudier les techniques permettant de choisir parmi toutes les données disponibles à bord celles qui devront être envoyées et de les compresser intelligemment en fonction de la phase de mission en cours et des actions des opérateurs.

T05 – Préparation de mission et entraînement

Avec les nouvelles fonctions d'autonomie qui seront développées se pose la question de la configuration de ces fonctions. Le but de ce thème est d'étudier comment s'insère la préparation de ces données au sein des outils de préparation de mission opérationnels. De

² Mixte signifie que le SCAF intègre des plateformes pilotées et non pilotées et qu'il faut donc gérer la relation entre ces deux types d'acteurs

même la validation de ces données de configuration vis-à-vis des contraintes de la mission du jour devra être étudiée.

Cette thématique inclut aussi l'étude de l'impact de ces nouveaux systèmes sur l'entraînement des équipages qui devront apprendre à utiliser une machine ayant une certaine autonomie afin d'apprendre à lui faire confiance.

L04 - CAPTEURS INTELLIGENTS

Présentation

Nos capteurs vont devoir s'adapter aux évolutions des besoins liés aux changements rapides de l'environnement et des besoins opérationnels. Les temps de développement des capteurs sont longs et une solution pour optimiser les coûts de possession est de permettre une adaptation des capteurs pendant les phases d'exploitation. Les nouvelles techniques d'IA vont permettre de rendre nos capteurs apprenants et intelligents et ainsi d'évoluer avec leur environnement. Les conséquences de ces changements vont devoir être maîtrisées tant par les opérateurs, qui vont subir les évolutions et devront comprendre les nouveaux modes de fonctionnement que par les instructeurs qui vont devoir encadrer les évolutions des capteurs. L'aspect non déterministe va conduire à des changements de paradigmes notamment vis-à-vis des aspects de qualification ou de certification. La conduite des évolutions et la gestion des changements seront le leitmotiv des activités futures.

Dans le cadre des travaux du projet, trois de ces dimensions sont abordées qui sont d'une part, les capteurs cognitifs, d'autre part, les capteurs apprenants et enfin les problématiques de supervision de l'apprentissage. Une première liste des questions qui se posent aujourd'hui apparaît ci-dessous.

Dans ce qui suit, on appellera « suite de capteurs » l'ensemble des capteurs présents à bord d'un avion de chasse ou d'un drone de combat.

Définition des thèmes

T01 - Capteurs cognitifs

En devenant apprenants et auto-adaptatifs, les capteurs aéroportés se dotent de fonctions d'analyse et d'apprentissage de leur environnement en temps réel. Ils disposent ainsi de capacités de reconfiguration automatique assurant l'optimisation de leurs performances. Dans le cadre de missions de plus en plus complexes, ils réduisent le besoin de formation des utilisateurs et optimisent leur charge de travail pendant la mission

1. Prédiction des performances techniques
Pour que la suite de capteurs puisse évoluer, il faut qu'elle évalue les performances dans toutes les étapes de la mission en fonction des conditions rencontrées.
2. Désignation croisée entre capteurs
Comment profiter des avantages respectifs des capteurs pour qu'ils s'améliorent en tant que suite de capteurs ?
3. HUMS Capteurs
Les HUMS capteurs (Health & Usage Management System) doivent permettre un niveau de confiance élevé dans l'intégrité des informations issues des capteurs. Comment faciliter le maintien en condition opérationnel de la suite de capteur ?

Quel impact les systèmes multi-agents (SMA) pourraient avoir sur la planification et la gestion des ressources des suites de capteurs ?

4. Sélection cognitive des modes de fonctionnement
Comment permettre à l'opérateur d'opérer un choix en pleine connaissance des conséquences et ce de façon naturelle, sans que l'opérateur ne soit nécessairement un spécialiste technique?
5. Modes nouveaux accessibles
Comment faire collaborer des capteurs hétérogènes pour la détection, le pistage et l'identification? Comment utiliser au mieux les bases de données pour permettre des modes nouveaux ?
6. Auto-adaptation du capteur à son environnement
Comment prendre en compte l'environnement, qu'il soit lié à des phénomènes naturels (Météo) ou à des brouillages intentionnels ou non intentionnels?

T02 - Capteurs apprenants

1. Apprentissage des menaces et objets d'intérêt
Comment reconnaître, identifier et apprendre les menaces ? Comment gérer l'évolution des menaces et hiérarchiser les informations ?
2. Apprentissage de l'opérateur par le capteur (connaissances, préférences, comportement)
Comment mettre la machine au service de l'humain ?
3. Apprentissage de l'environnement
Les capteurs sont fortement dépendants de l'environnement dans lequel ils travaillent. Les performances de ces capteurs sont dépendants des conditions de météo, température et nature du sol ainsi que de l'évolution du porteur. Comment tirer les leçons du passé pour faire du prédictif sur les performances atteignables?
4. Processus d'éducation
Comment éduquer une suite de senseurs ? Quelles sont les procédures à mettre en œuvre ?, quels impacts sur les organisations? Quels seront les contraintes sur les architectures, sur les bases de données ? Quels avantages ?

T03 - Supervision des apprentissages

1. Validation/qualification incrémentale
Quels sont les procédés qui pourraient permettre la gestion des évolutions ?
2. Retour d'expérience, restitution des apprentissages vers l'homme
Comment gérer les apprentissages et notamment l'impact de l'aspect non déterministe vers l'homme ?
3. Initialisation et capitalisation des apprentissages
Quels sont les moyens, les méthodes et les répercussions sur les architectures, tant embarquées qu'au sol ?
4. Cohérence et partage des apprentissages entre équipements,

Comment gérer la cohérence en multi-capteurs et en multiplateformes et les impacts sur la gestion des données?

5. Résistance des apprentissages à la désinformation
Comment éviter que l'apprentissage n'amène à des choix qui sont conditionnés par des informations dont la qualité est insuffisante, soit qu'elle soit le fait de l'ennemi, soit qu'elle vienne d'une mauvaise captation de l'information ?

L05 - SERVICES AUX CAPTEURS

Présentation

On s'intéresse ici à la possibilité d'obtenir de nouveaux services en se basant sur les capacités accrues des capteurs apprenants et auto-adaptatifs, ainsi que sur la coopération et l'expérience acquise au sein de la suite de capteurs. Les capteurs intégrés en tant que suite de capteurs vont permettre la création de nouveaux modes qui n'auraient pu exister autrement. L'utilisation des paramètres primaires des capteurs va permettre l'émergence de nouveaux modes et permettre le contrôle continu des performances et des évolutions de chaque capteur par leur constitution en suite de capteurs.

Définition des thèmes

T01 - Gestion de l'Information Capteurs

Grace à ces nouvelles méthodes et ces nouveaux moyens il sera tout d'abord possible d'accéder à des **prédictions des performances techniques**. Ces prédictions sont cruciales car elles permettent d'optimiser les temps d'analyse voire d'impacter les trajectoires pour permettre un meilleur recueil d'informations quant à la situation.

Cette méthode va permettre la qualification des différents capteurs en fonction notamment de l'impact de l'environnement. Dans le même ordre d'idées, il est envisageable de faire des **réallocations dynamiques des tâches entre capteurs**. Les métriques étant dynamiquement évaluées, le capteur le plus optimal pourra devenir prépondérant et l'opérateur sera informé de l'efficacité respective des différents capteurs de la suite.

La coopération au sein de la suite de capteurs permet d'accéder à des **modes nouveaux**, obtenus par ces méthodes de fusion des données des différents capteurs de la suite.

A ces nouveaux modes pourront s'ajouter la Détection de zones d'intérêt, la **détection de comportements particuliers**, ceci de façon automatique pour alléger la charge de travail de la supervision, les **compressions intelligentes de données ou de connaissances** permettront de s'affranchir de la nécessité de transmettre la totalité des données via les communications. Ceci permettra aussi de hiérarchiser les données à fournir à la supervision en fonction de la criticité et de la charge de travail de celle-ci. Les données étant de plus en plus nombreuses, il faut les prioriser pour ne pas surcharger l'opérateur. De ce fait la gestion des ressources capteurs va devenir primordiale pour qualifier les détections au niveau de la suite de capteurs.

1. Détection de zones d'intérêt, reconnaissance automatique
2. Compression intelligente de données et de connaissances

Comment s'affranchir de la nécessité de transmettre la totalité des données sur la liaison de données ?

3. Priorisation des informations à transmettre et contrôle du « mur de l'information »
Comment hiérarchiser les données à fournir à l'opérateur en fonction de la criticité et de la charge de travail de l'opérateur ?
4. Adaptation des informations transmises au besoin
Comment adapter dynamiquement le flux d'informations transmises ?

T02 - Gestion des Services Capteur(s)

On s'intéresse ici à l'optimisation de l'utilisation des ressources (dans le temps et dans l'espace), à l'amélioration des performances collectives des capteurs (association de plusieurs capteurs pour réaliser différentes opérations) et ainsi valoriser la suite de capteurs.

1. Optimisation multi-contraintes des ressources capteurs
2. Superposition dynamique de services capteur et gestion des conflits
3. Qualité de Service prévisionnelle

T03 - Acceptabilité de l'information capteurs

L'opérateur sera confronté à une suite de capteurs dont les résultats seront évolutifs et non déterministes. L'acceptation de cette évolutivité va provoquer une défiance et il faut proposer des moyens pour rassurer l'opérateur et éviter qu'il soit perturbé.

L'acceptabilité passe entre autres par la confiance dans les résultats fournis, une garantie de visibilité sur le fonctionnement et une acceptation de la capacité des capteurs apprenant.

Le retour d'expérience et la restitution des données³ et des apprentissages sont une part importante de cette crédibilisation de l'évolution de l'apprentissage et du niveau de confiance, donc de l'acceptabilité de ce capteur par l'opérateur.

Le capteur va évoluer et bénéficier des apports d'autres missions par d'autres opérateurs potentiellement plus qualifiés. Comment faire en sorte qu'il n'y ait pas de rejet des informations des capteurs ? Les questions posées seront donc les suivantes :

1. Niveaux de traitement possibles et nature des informations résultantes.
2. Facteurs humains, confiance dans les résultats fournis, besoin de visibilité sur le fonctionnement retenu.
3. Mixité entre informations brutes et informations synthétiques
Comment faire accepter des informations d'abstraction plus élevées, comment encadrer l'évolution ?

³ La restitution des données est le traitement effectué après la mission pour valider les modifications des bibliothèques et ainsi par exemple pour les détecteurs de RADAR, permettre la prise en compte des nouveaux émetteurs pour les vols suivants.

L06 – MISE EN ŒUVRE DES RESSOURCES et SOUTIEN

Présentation

Mise en œuvre des ressources

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** fait référence à toutes les opérations réalisables pendant une mission, donc sans outillages en contact direct avec l'avion. La seule exception est le ravitaillement en vol, qui établit puis rompt en plein vol le contact entre un avion ravitailleur et l'avion de combat.

Dans le contexte de ce document sont exclues toutes les tâches orientées mission, couvertes par d'autres axes. On traite donc ici principalement d'imprévus, et principalement de filtrage des pannes et de gestion des pannes.

C'est l'évolution des technologies qui permet de simplifier ainsi la description du périmètre : en effet, l'automatisation de l'avion a permis de soulager l'équipage de tâches routinières de gestion des systèmes de bord⁴. La présence de contrôleurs automatiques permet à l'équipage de se concentrer sur la réalisation de sa mission, en choisissant la trajectoire 4D et en mettant en œuvre les capteurs militaires et les armements. De plus en plus, les actions de la mission peuvent être préprogrammées et l'équipage, souvent réduit à un seul pilote, n'a plus qu'à superviser les actions des automates.

La différence entre les systèmes de base de l'avion et les systèmes de mission, est que les premiers ont déjà atteint le stade de l'autonomie quasi complète. A part la palette de manœuvre des trains d'atterrissage, tous les autres systèmes de base (propulsion, carburant, électricité, hydraulique, support vie, gestion thermique, air, protection givre) peuvent fonctionner de façon entièrement automatique en s'adaptant à chaque instant aux demandes de la mission. Les systèmes de mission autonomes en sont à leurs balbutiements sur des démonstrateurs comme *Neuron*⁵.

Ainsi sur le Rafale, la configuration aérodynamique est-elle optimisée sans intervention de l'équipage. Il a aussi été démontré sur *Neuron* la possibilité d'automatiser la manœuvre des trains et la conduite au sol lorsque les phases de taxiage, de décollage et d'atterrissage sont confiées au pilote automatique. La survie d'un mode de pilotage manuel dans les avions de combat modernes oblige à conserver des commandes pour la manette des gaz, les trains et les freins. Sur *Neuron* ce mode manuel a été supprimé et ces commandes disparaissent : les systèmes de base deviennent complètement autonomes.

L'automatisation complète des systèmes de base de l'avion n'est pas vue comme une difficulté majeure, mais conduit à exclure le pilote des opérations courantes. Elle limite donc sa capacité à apprendre et à comprendre le système, et donc à traiter les anomalies lorsqu'elles surviennent. « L'effet falaise »⁶ est la résultante du choix d'utiliser l'équipage en dernier recours, lorsque les automates reçoivent des informations incohérentes et ne savent plus les traiter. Non seulement on demande à l'équipage d'intervenir sur une panne, parfois sur une urgence vitale, mais on lui demande de le faire quand le niveau de

⁴ Par exemple sur un Mig 21, le pilote doit sélectionner la prise de pression statique en fonction de l'altitude et de la vitesse afin d'obtenir une indication de vitesse correcte.

⁵ Voir le site <https://www.dassault-aviation.com/fr/defense/neuron/les-etapes-cles-du-programme/> pour plus d'informations

⁶ L'effet falaise est l'altération brutale du comportement d'une installation que suffit à provoquer une légère modification du scénario envisagé pour un accident dont les conséquences sont alors fortement aggravées

confusion dépasse la capacité des automates à faire sens des informations. Or le pilote ne peut pratiquement observer les systèmes qu'au travers des indications données par les automates.

Le développement des drones et la complexité croissante des missions aériennes vont dans le sens d'un développement accru des automates. Plus les automates sont intégrés et complexes, moins le pilote est susceptible de les remplacer au pied levé. Dans MMT, l'axe sur la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** se focalise donc sur des thématiques susceptibles de résoudre ces problèmes en allant dans les directions suivantes :

- *La transparence*, autrement dit une supervision qui ne soit jamais dans un état de confusion tant que l'avion est en état de voler et les technologies permettant de conserver et de transmettre l'état du système et son historique ;
- *La représentation des situations techniques* qui joue deux rôles :
 - Eduquer l'équipage au fonctionnement du système en lui donnant une représentation opérante de celui-ci ;
 - Expliquer à l'équipage tout dysfonctionnement de la manière la plus simple et la plus naturelle possible, en limitant la formation au strict minimum la formation préalable nécessaire ;
 - Synthétiser les impacts des dysfonctionnements sur la mission, le plus tôt possible, et accepter les consignes de l'équipage sous la forme de choix entre divers scénarios de poursuite de la mission (ou d'abandon de celle-ci) ;
- *L'aide à la résolution de problèmes* qui va utiliser les vastes ressources en calcul et en communication du système de combat futur pour mettre à la disposition de l'équipage toutes les ressources humaines et algorithmiques, susceptibles de l'aider à trouver et à mettre en œuvre la meilleure solution face à une difficulté.

Ces thématiques recouvrent un grand nombre de concepts très différents, allant de la visualisation de problèmes techniques à l'intégration entre gestion d'un appareil et commandement d'un dispositif aérien.

Soutien

L'axe de développement technologique « Soutien » porte sur la maintenance⁷ et la mise en œuvre⁸. La maintenance assure l'employabilité de l'aéronef à travers quatre axes. Tout d'abord, la maintenance doit permettre d'assurer le niveau adéquat de sécurité de vol de l'avion et ce point fait partie des limitations de navigabilité (on peut penser au traitement des endommagements induits par la corrosion). Ensuite, il est nécessaire de maintenir la disponibilité opérationnelle requise de l'aéronef. Un troisième point est de maintenir la valeur de l'actif que constitue l'aéronef. Enfin il est nécessaire de maîtriser l'impact écologique induit par le fonctionnement de l'aéronef.

La mise en œuvre effectuée par le mécanicien configure l'aéronef à sa mission. Il s'agit d'avitailler l'aéronef (faire les pleins) et l'équiper des emports et des armements adaptés à la mission.

Le soutien est constitué soit de travaux réalisés en groupes formels coordonnés au regard des fonctions assumées par les acteurs soit de travaux aléatoires en équipe fondés sur un échange permanent d'informations entre fonctions. Le soutien comprend donc à la fois des activités planifiées et des activités où la planification et l'exécution sont quasi simultanées. Ces deux types d'activité interfèrent. La complexité du soutien naît déjà de la multiplicité des acteurs et des interférences entre les activités.

- Une activité est l'exercice de types de tâches réalisées par un acteur au regard de compétences démontrées qui l'autorise à réaliser ces types de tâches.
- Le soutien s'exerce au travers de chantiers. Un chantier est une séquence d'opérations techniques, ou tâches, cohérentes au regard d'un objectif technique et calendaire à réaliser. Une fois l'objectif atteint, le chantier est clos par les tâches de traçabilité et de restitution des ressources immobilisées par le chantier.
- Ce qui fonde la notion de chantier, c'est la séquence dans le temps des tâches. Par exemple « préparer l'avion ce matin pour 10h00 » ou « préparer le dossier technique au plus tard à 7h00 pour la prochaine intervention » est un chantier.
- Ce qui fonde l'activité c'est la compétence de l'acteur. Par exemple la maintenance électrique est une activité réalisée par un électricien.

L'environnement du soutien à proximité de l'aéronef est extrêmes complexe. Les humains, les outillages techniques et les autres **Systèmes Technique de Soutien (STS)**, les charges et emports et les aéronefs font partie de cet environnement. Seuls quelques éléments de cet environnement participent à la tâche du STS.

Des grandes tendances se dessinent déjà de nos jours qui vont affecter l'efficacité du soutien comme, par exemple, L'indépendance des organes interactifs (tablettes, lunettes, casques immersifs, reconnaissance de la parole, de geste, etc.) vis-à-vis des systèmes

⁷ On parle de maintenance lorsque la dépose ou la pose d'un équipement a pour finalité de dépanner un aéronef ou de prévenir une panne.

⁸ On parle de mise en œuvre lorsque l'opération de dépose ou de pose a pour objet de configurer l'aéronef à sa mission.

d'information « lourds », ou bien, Le robot ou cobot⁹ qui est une solution pour les tâches de mise en œuvre des aéronefs où le peu d'espace disponible dans les soutes rend pénible ou même inenvisageable le travail de l'homme. On peut encore citer l'explosion du volume de données à traiter d'une part et la complexité du réseau industriel (éventuellement) multinationale d'autre part nécessite une recherche constante des meilleures pratiques et une aide à la supervision des processus de soutien. Enfin, une performance recherchée est la capacité du soutien à vérifier l'état d'endommagement de surfaces difficilement accessibles ou fragiles au contact d'échafaudages (drone de maintenance).

L'accroissement de la complexité des tâches techniques et du pilotage des services de soutien pose donc la question de la capacité de l'homme à maîtriser des tâches qu'il ne réalisera plus mais qu'il supervisera et on peut après une première analyse orienter vers des solutions dans les thématiques qui suivent.

Un STS peut être :

- Un système de chargement/ déchargement (par exemple un robot) d'emports ou d'équipements situés soit sous ailes soit dans une soute fermée d'un aéronef.
- Un système d'inspection de l'extérieur de l'aéronef (éventuellement volant) ou de l'intérieur de l'aéronef.
- Un système de collaboration entre des acteurs humains situés sur des sites géographiques différents par exemple pour gérer des chantiers.
- Un système de diagnostic interagissant avec l'aéronef.

Notre hypothèse est que l'homme peut ne pas avoir accès à des zones où le STS devra opérer ou de façon plus générale qu'il n'est pas sur le lieu du chantier.

Les exigences fonctionnelles du STS sont les suivantes :

- Ex.1. Le STS est sûr vis-à-vis des humains, de l'emport, de l'aéronef, des autres systèmes et outillages de son environnement et de lui-même
- Ex.2. L'aéronef, la charge ou les autres éléments de l'environnement ne sont pas modifiés pour permettre l'emploi du STS.
- Ex.3. L'humain supervise et commande le STS sans effort et sans besoin lourd de formation
- Ex.4. L'humain peut à tout moment reprendre le contrôle dans l'exécution des tâches et le STS poursuit la tâche là où l'homme s'est interrompu
- Ex.5. L'humain doit ne pas être dépendant du STS, il conserve la capacité de réaliser son activité sans nécessairement disposer du STS.
- Ex.6. L'humain est impliqué dans les conséquences des décisions et des actes délégués au STS.
- Ex.7. L'humain n'est pas contraint par le temps. Il est capable de traiter des informations transmises par le STS avec retard, par exemple si la transmission des informations est interrompue ou si l'humain n'est pas disponible.

Définition des thèmes

Deux thématiques complémentaires, T06 – Résolution de problèmes et T07 - Représentation des situations techniques, ont été introduites pour le BATCH 2 du fait des compléments réalisés sur la description de l'axe.

⁹ Un cobot est un robot collaborant avec l'homme directement dans son espace de travail (par exemple, une troisième main intelligente)

T01 - Langage mécanicien

Cette thématique adresse le langage mécanicien qui devra fonder la coopération entre l'homme et la machine. Ce langage intuitif pour l'homme lui permettra de commander les STS sans compétences préalables autres que celles qui fondent son activité. Ce langage vise à éviter :

- tout apprentissage fastidieux ;
- toute connaissance scientifique ou technologique relative au STS ;
- toute tâche supplémentaire intrinsèque à l'utilisation du STS telle que l'identification de la personne via des mots de passe ou l'insertion d'une clé ;
- tout déplacement de l'acteur sur des lieux imposés.

L06-T01 se rapproche des thématiques L01-T06 et L02-T04 mais l'environnement spécifique du soutien et des personnes concernées introduisent des spécificités contraignant différemment les solutions techniques.

T02 - Supervision des tâches mécaniques

Cette thématique adresse la supervision des robots ou cobots par exemple pour la mise en œuvre de charges ou pour l'inspection là où l'homme n'a pas accès (faible garde au sol, soute dense, etc.)

1. la reconnaissance de l'environnement dans lequel le STS devra évoluer
2. l'assistance à la préparation des tâches telle que l'optimisation du déplacement au regard des contraintes calendaires, les solutions alternatives en cas de défaillance du système.
3. La restitution en temps réel de la nature de la tâche réalisée et de la position du STS.
4. La prise en compte des historiques des précédentes interventions et inspections de l'histoire de l'aéronef.
5. La connaissance des risques de mise en danger ou de franchissement de barrières de sécurité
6. La détection de défauts induits ou non par la tâche en cours.
7. La réalisation de tâche délicate comme la connexion électrique des charges à l'aéronef

T03 – Supervision des inspections

En plus des points 1 à 5 de la thématique précédente, ce thème prend en compte l'identification (reconnaissance) de défauts et leur niveau d'acceptabilité ainsi que la discrimination des défauts nécessitant une remontée d'information vers l'humain.

T04 - Procédure d'amélioration continue des processus et de leur coordination

Cette thématique prend en compte la prédiction ainsi que le retour d'expérience en vue de sélectionner les meilleures pratiques tout en permettant la diversité des décisions et la remise en cause de l'apprentissage passé. Il s'agit de cartographier les bonnes et les mauvaises pratiques ainsi que les erreurs faites dans l'exercices des chantiers pour en tirer de façon simple un enseignement. Ceci étant, la compétence experte ne peut en aucun cas être réduite à des solutions techniques comme l'apprentissage profond sur les données de Soutien ou l'optimisation des processus. La capacité de l'humain à adopter des pratiques

innovantes doit donc être préservée car elle inclut entre autre la capacité à identifier un point d'amélioration et l'intérêt à opérer différemment.

Dans le contexte du soutien, la problématique de la prédiction et du retour d'expérience est contrainte par l'étendue mondiale des opérations techniques, par le droit à en connaître et la méconnaissance des données induites par des pertes d'informations.

T05 – Formation et Maintien de compétence

Cette thématique adresse la formation et le maintien de compétence des mécanos travaillant en équipe coordonnée. Il s'agit pour la machine de sélectionner les enseignements utiles à l'homme et/ou de participer à cet enseignement. L'enseignement porte à la fois sur la dimension technique de ce que l'homme doit savoir et aussi sur :

- le rôle que l'homme doit tenir dans l'équipe ;
- les situations où l'homme doit prendre l'initiative de changer de rôle.

T06 – Résolution de problèmes

Dans ce contexte, un problème est une situation qui doit être corrigée, et qui est reconnue en tant que telle. Les problèmes de maintenance sont détectés soit par l'avion, soit par le mécanicien et corrigés par une réparation effectuée au sol et/ou un changement des missions auxquelles l'appareil est affecté. Les problèmes latents, pannes cachées par exemple, ne rentrent dans le périmètre qu'au moment où ils sont reconnus.

L'axe "Résolution des problèmes" traite des concepts suivants:

- Détection de problèmes latents;
- Génération collaborative des actions systèmes avion adaptées synergiques du « game plan » ;
- Prédiction des conséquences dans tous les domaines des différentes possibilités d'action.

T07 – Représentation des situations techniques

Ce thème traite des méthodes pour décrire et représenter de façon naturelle et intuitive des situations techniques (pannes) et leurs conséquences. Il couvre aussi bien les représentations textuelles que picturales, sous la forme d'images ou d'animations, ainsi que l'utilisation d'une narration pour soutenir une description picturale. Contrairement aux synoptiques sur lesquels plus les pannes sont rares, plus la représentation devient abstraite (étoiles, croix, clignotements) l'objectif est de ne pas introduire de nouvelle convention par rapport à celles qu'un pilote voit tous les jours.

La représentation doit être adaptée à l'interlocuteur et son niveau de connaissance des systèmes: pilote, pilote expert, mécanicien. On s'attache aussi à la capacité explicative, et à la subtilité dans l'expression, pour expliquer comment la machine arrive à sa conclusion probable, quelles sont les autres causes racines possibles.

La représentation doit aussi s'adapter à la tâche en cours, ne pas interrompre des tâches critiques pour des pannes mineures qui n'interfèrent pas directement avec celle-ci. En commençant par un échange oral, elle doit proposer spontanément d'aller vers une modalité plus riche, mais plus invasive de l'espace de travail en fonction des demandes humaines. Le système doit s'adapter au rythme de l'être humain, auquel il doit dès les



premiers échanges donner les moyens de faire référence à l'événement afin de remettre le système dans ce contexte pour approfondir.