

## Approche opérationnelle en phase projet de conception d'un système innovant

Le montage effectué en phase amont du projet permet d'entraîner sa sélection. C'est le premier jalon go no go du processus. Le concept a été jugé innovant profitable et utile reste maintenant à commencer la démarche systémique dont la chronologie est rappelée dans la figure ci-dessous. Ce qui sépare la phase amont de la phase projet c'est le moment où le projet est jugé suffisamment prometteur pour commencer d'être financé. A partir de ce point, un planning est établie et une feuille de route est validée avec des jalons et des livrables pour pouvoir suivre les avancées.

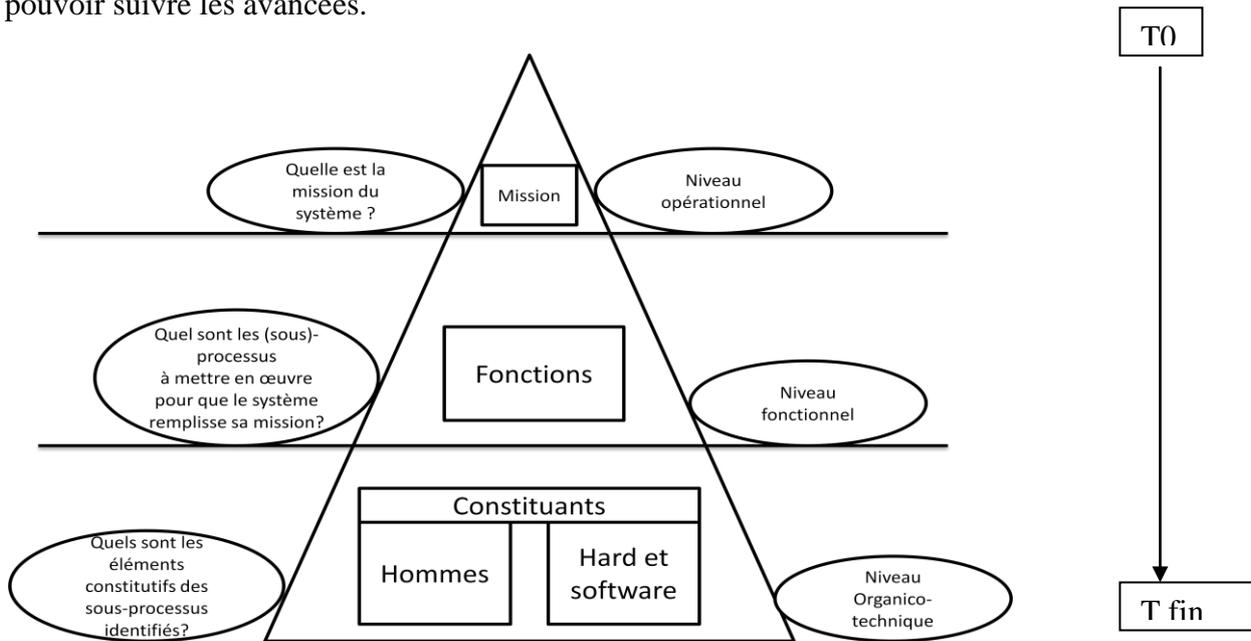
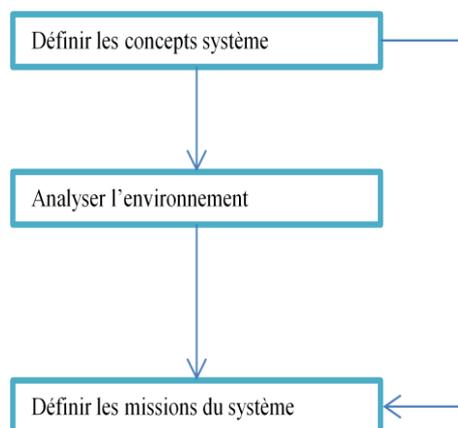


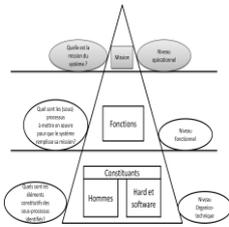
Figure 15 : démarche systémique de la conception d'un système

### 3.1. Définition du système

Définition des missions du système : Les missions sont les charges confiées aux systèmes par les clients identifiés dans l'analyse de l'environnement. Ces charges sont la traduction de la fonction interne des systèmes définis dans le concept système. On établira une hiérarchisation des missions.



### 3.1.1. Des missions accomplies par un concept



Tout système a une série de missions. Une mission de système doit pouvoir s'exprimer en une seule phrase simple compréhensible et partagée par tous. Incarnée par un sponsor légitime, sa réussite doit être mesurée par un nombre très limité d'indicateurs de performance. Comme on l'a souligné dans le § 2.5, le système SAHARA est un système dont les flux entrant et sortant sont informationnels.

En effet, SAHARA a pour entrée des capteurs qui transmettent des informations sur l'environnement intérieur (capteur de température dans les moteurs ou dans la cabine) et extérieur (capteur de pression extérieure, capteur de fissure, distorsion des matériaux composites constitutifs du fuselage) de l'aéronef. SAHARA aura pour sortie un bus interne, (comme mentionné en figure 3 du § 2.5), relié au centre de décision adéquat (cabine de pilotage, appareillage de maintenance, logiciel de prise de décision, alarmes). Toujours d'après les tableaux dans le § 2.5 on déduit que SAHARA devra communiquer dans l'espace de l'aéronef envisagé, mémoriser un certain nombre de données dans le temps et apporter une valeur ajoutée aux données en les traitant. Grossièrement au niveau opérationnel le système SAHARA se résume comme suit :

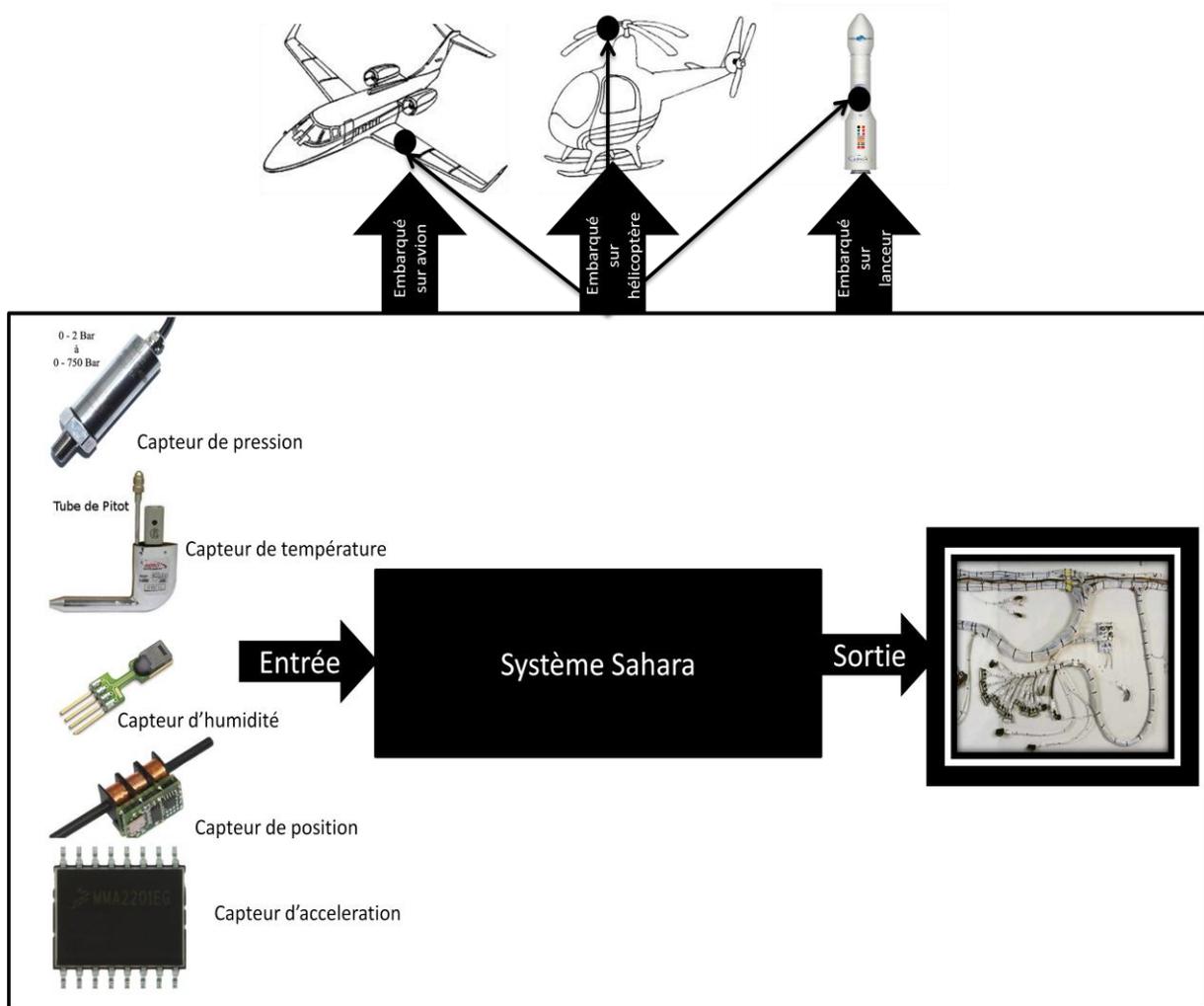


Figure 16 : les entrées et sorties du système SAHARA

Dans le cas de SAHARA, les missions de notre système sont de traiter et transmettre un message entre un émetteur et un récepteur. Dans un contexte opérationnel, l'émetteur est lié à un capteur et le récepteur est lié à un centre décisionnaire. Dans un contexte stratégique rappelons que le système dans son intégralité est embarqué à bord d'un aéronef. On se trouve dans le cadre d'un système embarqué sur un système plus grand

### 3.1.2. Une vision opérationnelle

Le but de l'architecture opérationnelle est de comprendre l'ensemble des interactions prévisionnelles (en termes de contexte, de nature et de dynamique) entre un système et son environnement. [Krob03]

L'architecture opérationnelle permet :

- de garantir un niveau d'exhaustivité raisonnable dans l'identification des parties prenantes et d'organiser les méthodes & les outils supports du référentiel des besoins (processus de capture, référentiels d'ingénierie & documentaire, etc.), grâce à la connaissance de l'environnement (dans le §2.7)
- de fournir des points d'entrée pour le travail d'architecture fonctionnelle grâce à l'analyse des scénarios opérationnels associés aux différents cas d'utilisation d'un système d'information qui décrivent notamment toutes ses interactions externes.

#### 3.1.2.1. Architecture de l'environnement :

Un système est entouré par un certain nombre de partie prenante, l'ensemble monde étant trop vaste il est nécessaire d'identifier quelles seront les partie prenantes en interaction avec notre système.

2 types d'interactions sont possibles :

- 1) Soit le système agit sur son environnement (sortie du système, entrée de l'environnement)
- 2) Soit l'environnement agit sur le système (entrée du système, sortie de l'environnement)

Ramifions pour identifier cet environnement ces deux interactions.

Les sorties du système peuvent être de deux types pour l'environnement :

- 1) Positive : le système « rend un service à son environnement », et c'est d'ailleurs la raison pour laquelle il est conçu en général
- 2) Négative : le système « perturbe » (pollution, dérangement, désagrément)

L'environnement peut agir aussi sur le système de deux façons

- 1) Positive : l'environnement « rend service au système », il le conçoit le produit l'utilise le maintien, il permet que le système existe
- 2) Négative : l'environnement « perturbe le système », il l'empêche de fonctionner correctement, le contraint

Pour construire l'architecture de l'environnement de SAHARA, on répondra donc aux questions suivantes :

- Quelles sont les parties prenantes auxquelles le système rend service (ou peut être utile)
- Quelles sont les parties prenantes qui pourraient être perturbées par le système avant pendant ou après son fonctionnement (tout au long de son cycle de vie)
- Quelles sont les parties prenantes qui pourraient perturber le système dans son fonctionnement
- Quelles sont les parties prenantes participant à la conception du système
- Quelles sont les parties prenantes autorisant la production et à la mise en service du système
- Quels sont les parties prenantes outils à partir desquels le système a été conçu

L'architecture d'un environnement peut être infinie c'est la raison pour laquelle ici il a fallut faire des choix quand au niveau d'abstraction imposée. La solution proposée est une des visions possible de l'environnement mais ce n'est pas la seule. Le tableau ci-dessous présente donc nos réponses dans l'ordre aux questions posées. Sont marqués d'une croix les parties prenantes qui ont été jugées trop éloignées du système pour être interrogé lors de la spécification des exigences. Elles seront gardées en mémoire mais ne seront pas consultées

Exemple : les passagers a part en tant que contrainte (obstacle a la propagation), ne sont pas une partie prenante que nous iront interroger

Pilote	Equipe de maintenance	Systémier équipementier constructeur	Avionique	Compagnie aérienne	<del>Personnel naviguant</del>	<del>Passager</del>
Système électrique à bord	Alimentation	Système configuration de l'aéronef	Système avionique	<del>Système propulsion et auxiliaire</del>	<del>Système mécanique</del>	<del>Système gestion environnement</del>
Radars	Autres aéronefs (à proximité)	Appareil émettant des ondes électromagnétique	Climat (t° humidité)	<del>Oiseaux</del>	<del>Pression</del>	foudre radiation
Equipe de conception	Equipe de production	Equipe de certification	Norme DO160	Normes sanitaire	<del>Association de consommateur</del>	Système de fréquence
<del>Système politique</del>	Système de recyclage	<del>Système marketing</del>	<del>Système économique et budgétaire</del>	Ensemble des fournisseurs	Système aéronef	Donneur d'ordre
Système logiciel	Système des matériaux	<del>Système des standard</del>	Système de connaissance et ensemble de retour d'expérience	Système technologique	Système de modélisation	Ensemble des outils de test

Figure 16.1 : parties prenantes possibles

Une fois les parties prenantes identifiées et triées en fonction de la nature de leur interaction avec le système, il faut hiérarchiser ces parties prenantes afin de créer une architecture de l'environnement :

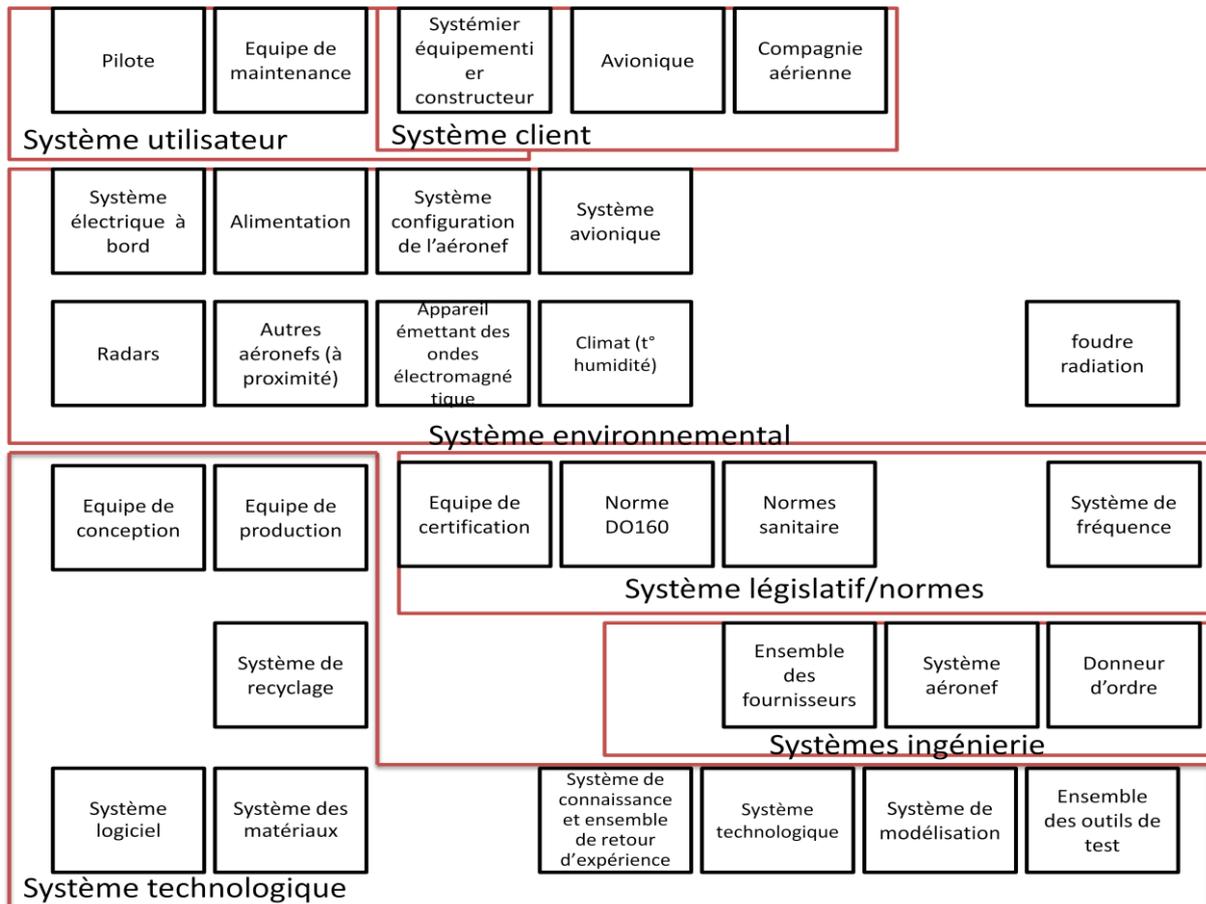


Figure 16.2 : Partie prenantes retenues

On obtient alors la hiérarchie suivante qu'on utilisera pour spécifier les exigences. Chacune de ces parties prenantes sera prise en compte car il apparait que le non respect de leurs exigences pourrait mettre en péril le système dès le départ.

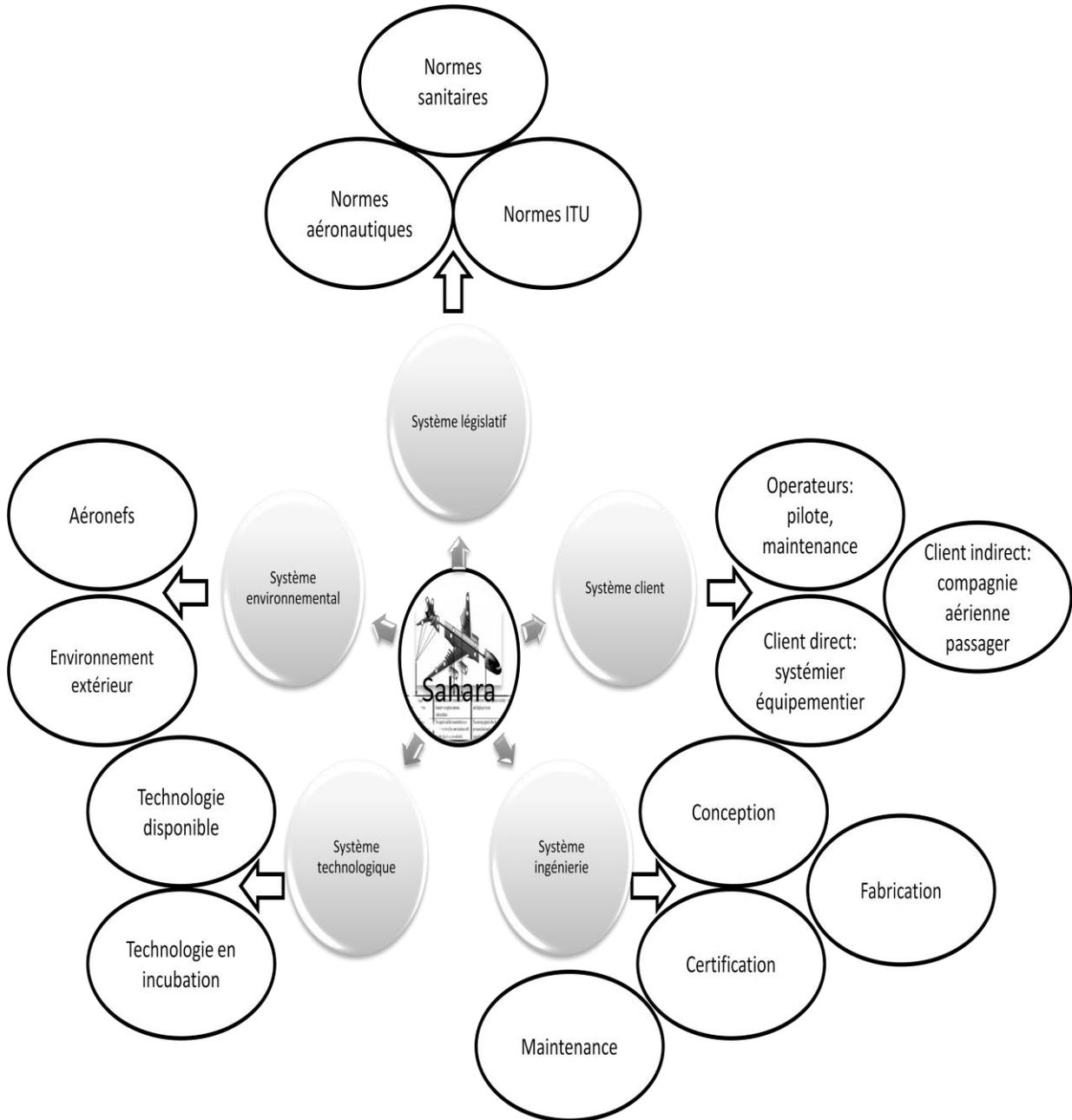


Figure 17 : architecture environnementale choisie pour spécifier l'ensemble des exigences

Reste à présent à établir les interactions entre les parties prenantes et le système SAHARA

Système externe	Définition	Impact
Système législatif	Ensemble de normes créée 1) pour contrôler les utilisations des bandes de fréquence 2) pour réserver celle-ci si besoin est pour SAHARA 3) Pour protéger la santé des passagers	- SAHARA doit respecter les normes en vigueur  - Le système législatif mettra en place une bande de fréquence pour SAHARA
Système ingénierie sociétal	Ensemble des acteurs soutenant SAHARA	- Le système ingénierie conçoit fabrique et test SAHARA
Système client/ utilisateur	Ensemble des acteurs qui utiliseront et agiront sur SAHARA tout au long de son cycle de vie Ensemble des systèmes operateurs profitant de SAHARA	-SAHARA donne spontanément des informations sur l'environnement et l'état de l'aéronef aux operateurs  -Les utilisateurs demandent à SAHARA des informations particulières à un instant t -SAHARA améliorera le produit final acheté par le client et le rendra plus compétitif  -Le client peut faire modifier SAHARA
Système environnement	Ensemble des éléments entourant le système cible susceptible ou non d'interagir avec celui-ci	-SAHARA ne devra pas endommager son environnement et résister à l'influence de cet environnement
Système technologique	Ensemble des briques technologiques à disposition pour concevoir SAHARA	-SAHARA devra contenir un maximum de briques technologique existantes (pour optimiser les compatibilités et minimiser les couts de développement)  -Le domaine technologique pourra connaitre de nouvelles avancées grâce à SAHARA

**Nature des interactions entre le système SAHARA et ses systèmes environnants**

### 3.1.2.2. Contexte opérationnel

#### 3.1.2.2.1. Pour le système avion

Lors du projet SAHARA le consortium (SAFRAN : utilisateur final) a défini plusieurs applications :

- Trains d'atterrissage : capteur de pression dans les roues ; instrumentation des freins et des systèmes hydraulique ; capteurs de positions dans les jambes et les amortisseurs.

- Moteurs : Instrumentations sur bancs au sol et engin en vol. Paramètres non critiques

(Pas de commandes) mais informations sur la structure et fatigue ; partie mobile.

- Ailes : fatigue structurelle des pièces (fixes et mobiles) ; capteur de positions pour les volets;

- Tronçon principal : Fatigue structurelle ; paramètres de confort des passagers

(Température de la cabine, humidité, pression, etc.) ; remonté d'informations de la soute ; appel du personnel naviguant etc.

Ces applications seront mises à jour en fonction des retours du projet mais aussi des remontés de la part d'équipementiers avionique sur les parties considérés.

Zones d'emplacement des capteurs (schéma de principe) :

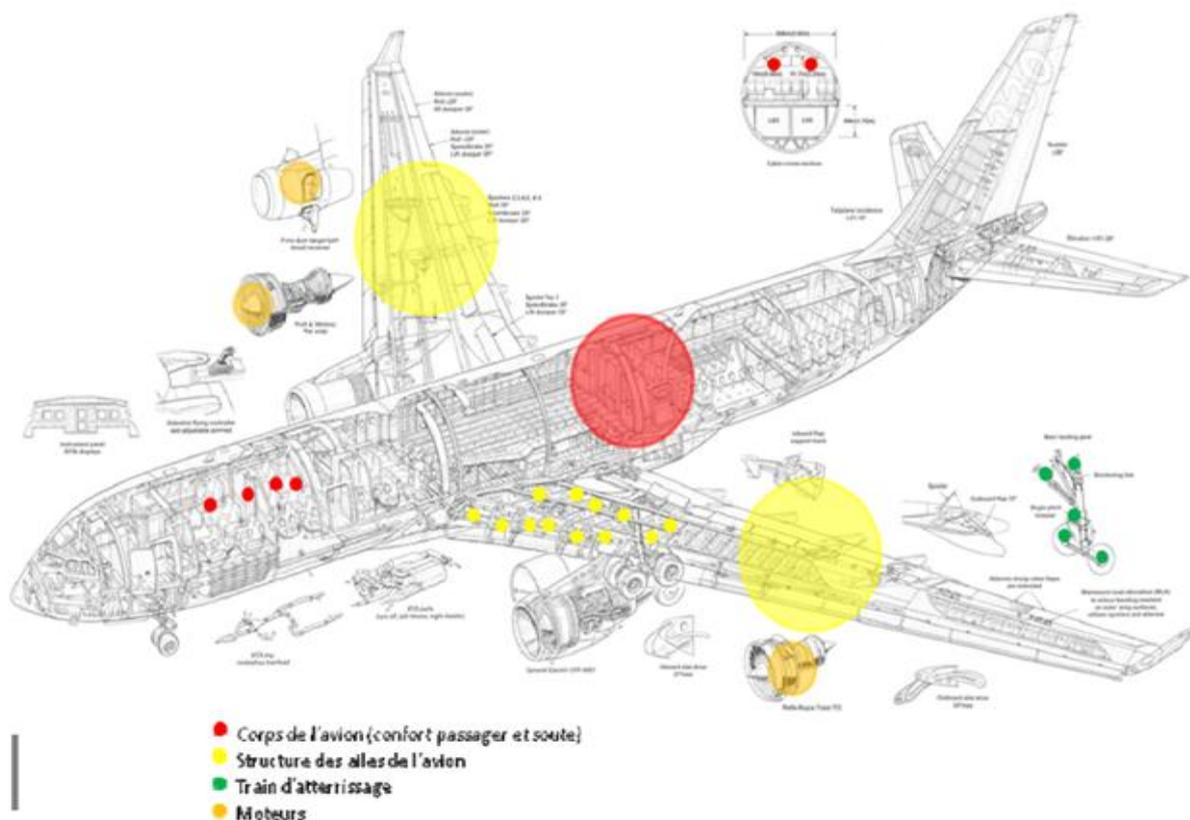


Figure 18 : applications avion

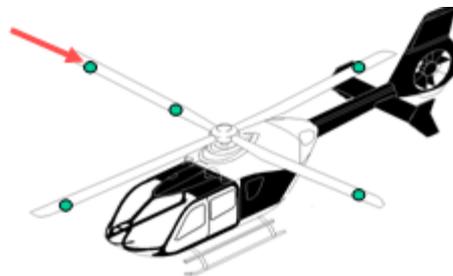
### 3.1.2.2.2. Pour le système hélicoptère:

Lors du projet SAHARA le consortium (Eurocopter : utilisateur final) a défini plusieurs applications :

#### Application pale d'hélicoptère

Le système doit permettre une installation sur pale d'hélicoptère pour laquelle on a N émetteurs (max 20) vers un récepteur.

Les émetteurs peuvent être situés sur l'intrado ou l'extrado de la pale, sur toute sa longueur. Ils peuvent aussi être installés au sein de la pale. L'antenne du récepteur sera situé en partie statique, sous les pales.



**Figure 19.1 : application hélicoptère : pale**

Il est à noter que, dans le cas d'une installation sur extrado de la pale, les antennes émetteur/récepteur seront alternativement en LOS et NLOS.

#### Application contrôle santé structure

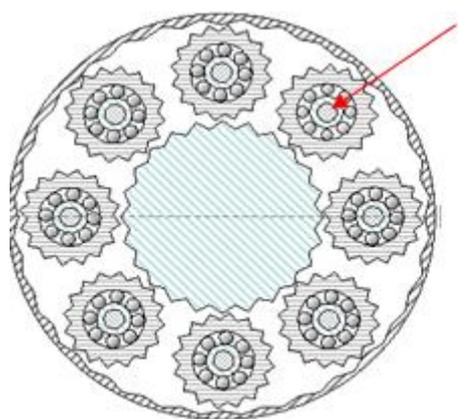
Le système doit permettre une installation sur pale d'hélicoptère pour laquelle on a N émetteurs (max 200) vers un récepteur.

Les émetteurs peuvent être situés au sein de la structure (composite, aluminium) ou sur la structure de l'hélicoptère, typiquement sur les parties travaillantes (zone rotor de queue, rotor principal). L'antenne du récepteur sera située en cabine.

#### Application interne boîte de transmission

Le système doit permettre une installation au sein d'une boîte de transmission pour laquelle on a 8 émetteurs vers un récepteur.

Les émetteurs peuvent être situés au niveau des satellites d'un étage épicycloïdal. L'antenne du récepteur sera située sur la paroi.



**Figure 19.2 : application hélicoptère : boîte de transmission**

3.1.2.2.3. Pour le système lanceur :

Le consortium (Astrium: utilisateur final) a défini plusieurs applications :

Télémesure, suivi des conditions,  
surveillance des ambiances, suivi des  
conditions



Le système SAHARA sera installé dans des volumes métalliques fermés avec des surfaces du type présenté ci-contre.

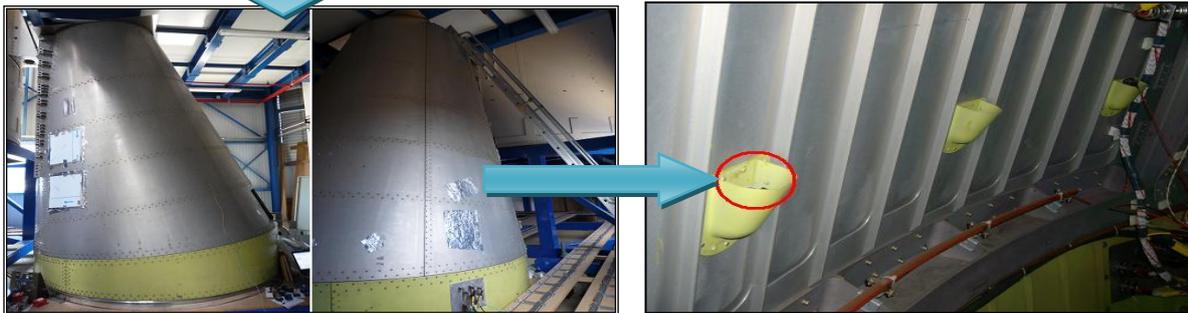
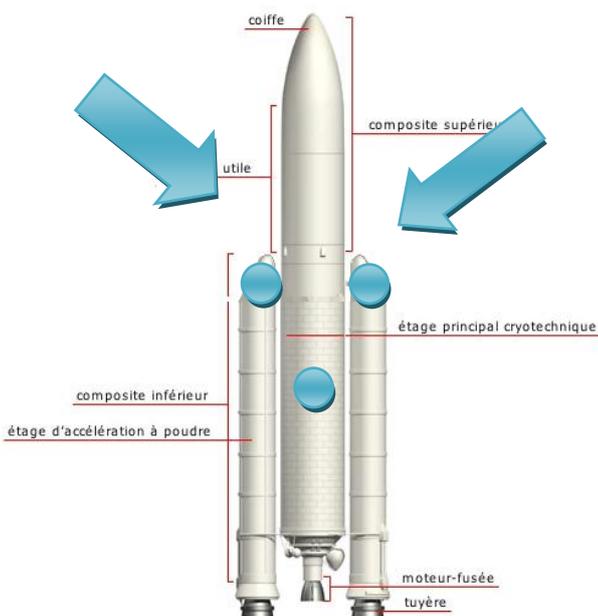


Figure 20 : Détail d'une partie de virole avec raidisseurs détourés.



**Moteur-fusée :** Il assure la propulsion du lanceur par la combustion de l'hydrogène liquide au contact de l'oxygène liquide.

**Étage d'accélération à poudre :** Il fournit l'essentiel de la poussée lors du décollage avant de se séparer de l'étage principal cryotechnique.

**Étage principal cryotechnique :** Corps central qui assure la propulsion après la séparation de l'étage d'accélération à poudre.

**Composite inférieur :** Il se compose de l'étage principal cryotechnique et de l'étage d'accélération à poudre.

**Coiffe :** Extrémité du lanceur qui renferme et protège la charge utile.

**Composite supérieur :** Il se compose de l'étage à propergol stockable et de la charge utile.

**Tuyère :** Partie terminale d'une fusée par laquelle s'échappent les gaz de combustion, créant ainsi la poussée qui propulse le vaisseau.

**Charge utile :** Sonde spatiale ou satellite transporté par le lanceur

### On récapitule donc les applications retenues pour chaque type d'aéronef

Application avion :

- Voilure, structure aéronef
- Train d'atterrissage ou mécanique en mouvement, ou ensemble arrimés
- Instrumentation banc moteur et environnement moteur

Application hélicoptère :

- Instrumentation pales (sondes températures, efforts, Pression)

Application lanceur

- Mesure technologique - Capteurs haut et basse cadence d'acquisition
- Mesure opérationnelle - Capteurs haute et basse cadence d'acquisition
- Mesure opérationnelle ou fonctionnelle en phases de production

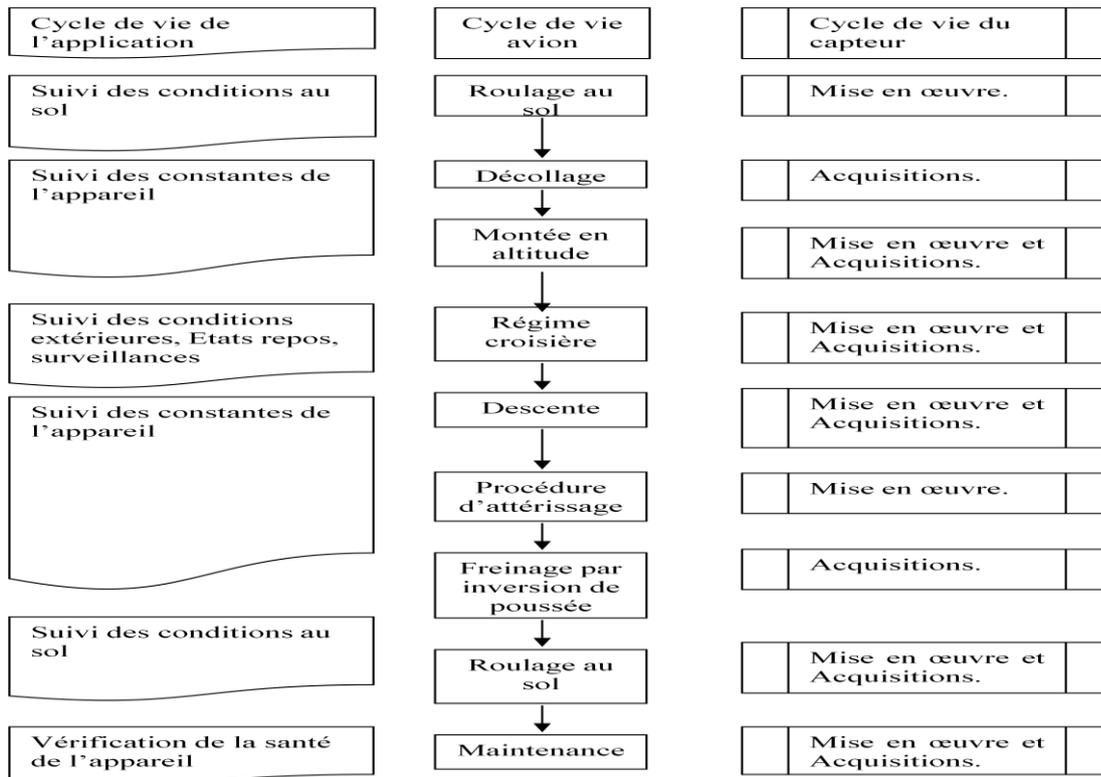
Vous pourrez trouver ces applications et leur définition détaillée en **annexe 3**.

#### *3.1.2.3. Cycle de vie*

Pour construire les schémas ci-dessous on a, à partir du cycle de vie des différents aéronefs, étudié avec les différentes applications qui pourraient être en activité selon la phase dans laquelle se trouve l'aéronef et on s'est intéressé de savoir si le système SAHARA relatif se trouvait en phase de mise en œuvre (activité d'échange d'information) ou en phase d'acquisition (phase passive ou de stockage). Cette parallélisation nous permet d'avoir en fonction de l'état de l'aéronef, le type d'application qui seront utilisées ainsi que les états du système SAHARA

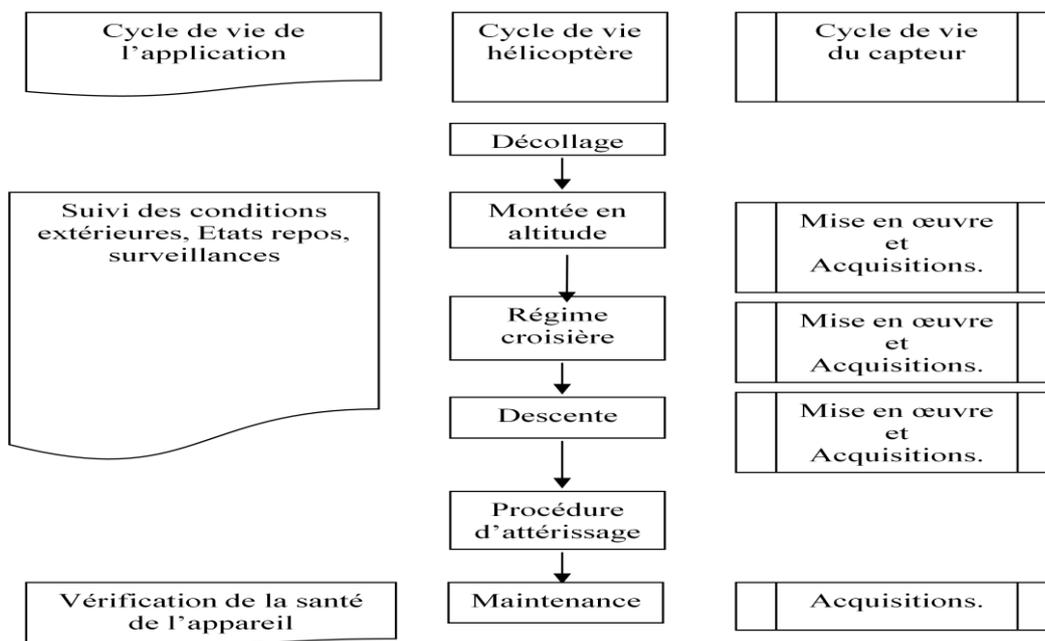
### 3.1.2.3.1. Cycle de vie d'un avion :

On s'intéressera au cycle de vie au sol et en vol d'un avion

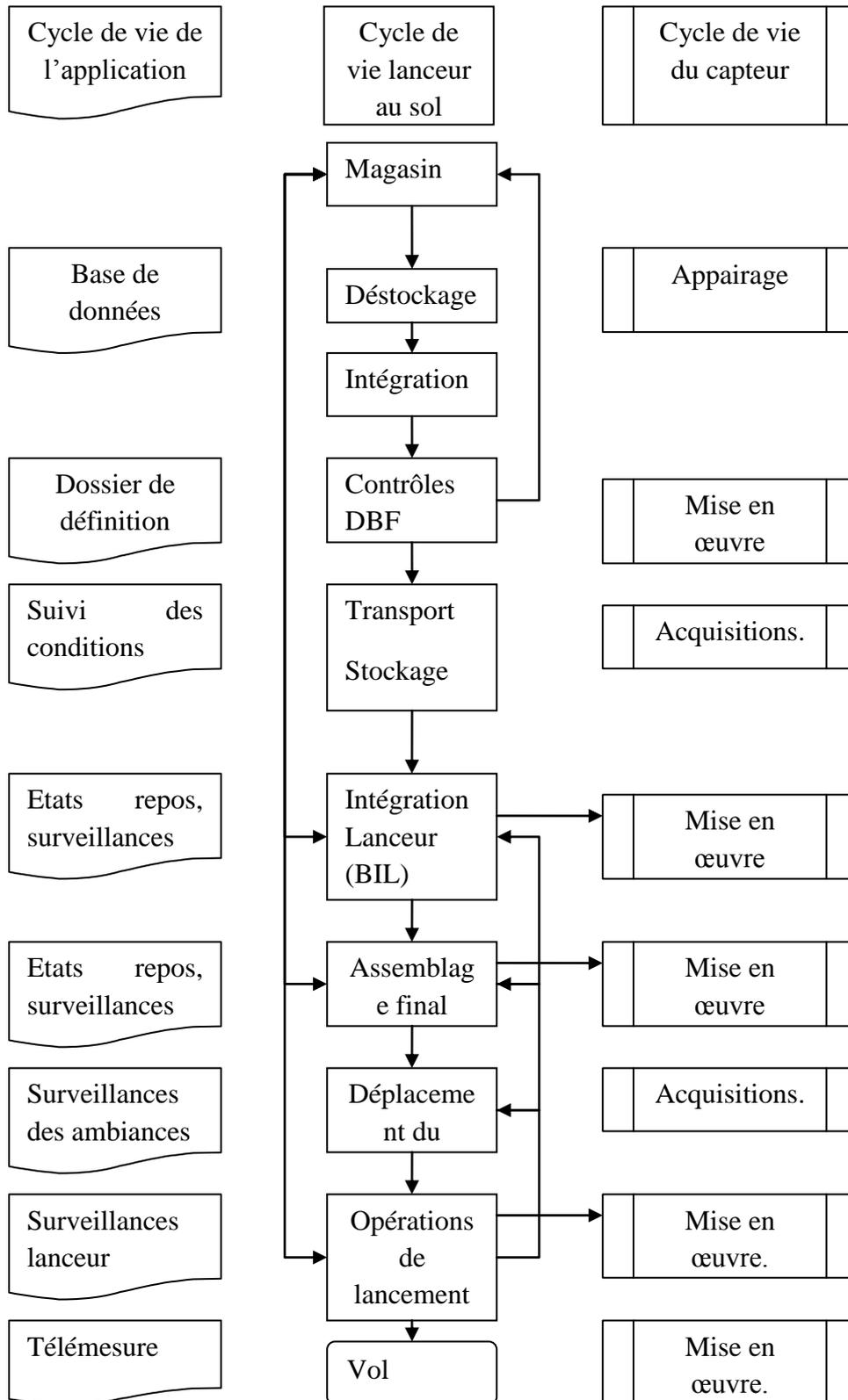


### 3.1.2.3.2. Cycle de vie d'un hélicoptère :

On s'intéressera au cycle de vie au sol et en vol d'un hélicoptère ce qui se passe au sol ne nous intéresse pas sauf pour la maintenance et comme explicité précédemment ce sont principalement les conditions environnementales extérieures à l'hélicoptère que l'on cherche à surveiller (application pales)

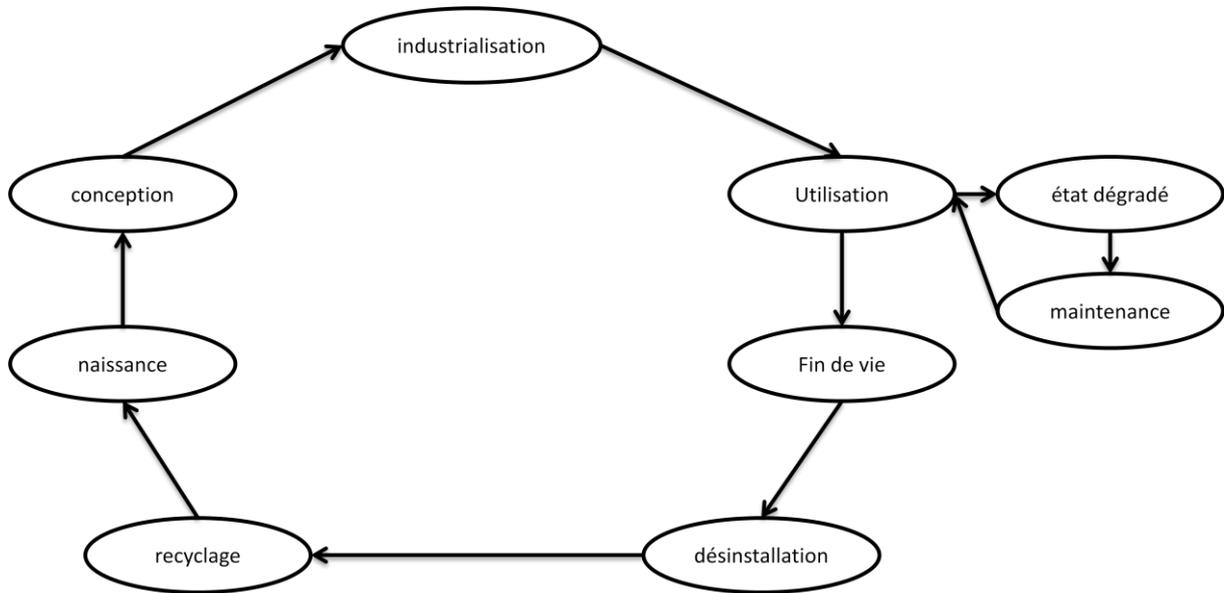


Cycle de vie d'un lanceur au sol : on s'intéressera au cycle de vie du capteur au cours de la portion de vie du lanceur au sol. Ce qui se passe une fois que le lanceur décolle ne nous intéresse plus puisqu'on cherche essentiellement à faire, dans ce cas précis, de la surveillance et de la télémessure au sol

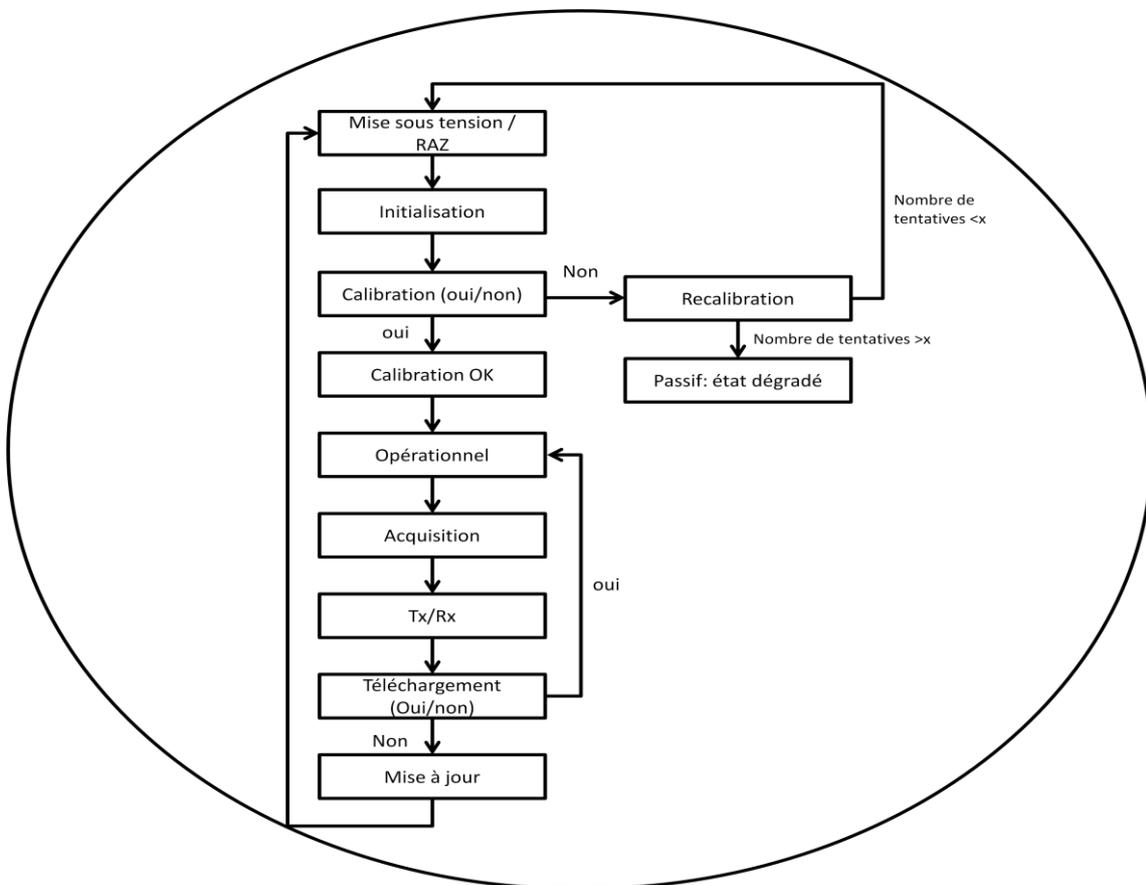


3.1.2.3.3. Cycle de vie produit :

On conclura sur le cycle de vie que l'on souhaitera voir appliqué pour le système SAHARA et qui conviendrait dans les trois cas.



Détail de la sphère d'utilisation pour SAHARA :



### 3.1.3. Une mission accomplie pour chaque acteur

#### 3.1.3.1. Cas d'utilisation

La vision « haut niveau » d'un système doit tenir sur un nombre très limité de diagrammes simples à comprendre et à partager avec tous les acteurs clefs concernés, qu'il faudra ensuite affiner progressivement

Un cas d'utilisation d'un système est une spécification statique d'un contexte opérationnel où l'on décrit tous les systèmes externes qui interviennent dans le contexte considéré ainsi que leurs interactions (tant entre eux qu'avec le système analysé) dans ce contexte

Pour réaliser les diagrammes d'utilisation et les scénarios opérationnels, on s'est servi d'un logiciel de modélisation SySML (Artisan d'ATEGO) dont vous pourrez retrouver la décomposition **en annexe 4**.

Diagramme d'utilisation pour hélicoptère et avion : comme on l'a mentionné auparavant, les acteurs principaux qui entrent en interaction avec le système SAHARA sont d'une part le pilote (qui représente le centre de décision en général) et d'autre part, les équipes de maintenance. Les actions peuvent être résumées grossièrement dans le schéma suivant et seront détaillées par des scénarios opérationnels plus précis plus bas.

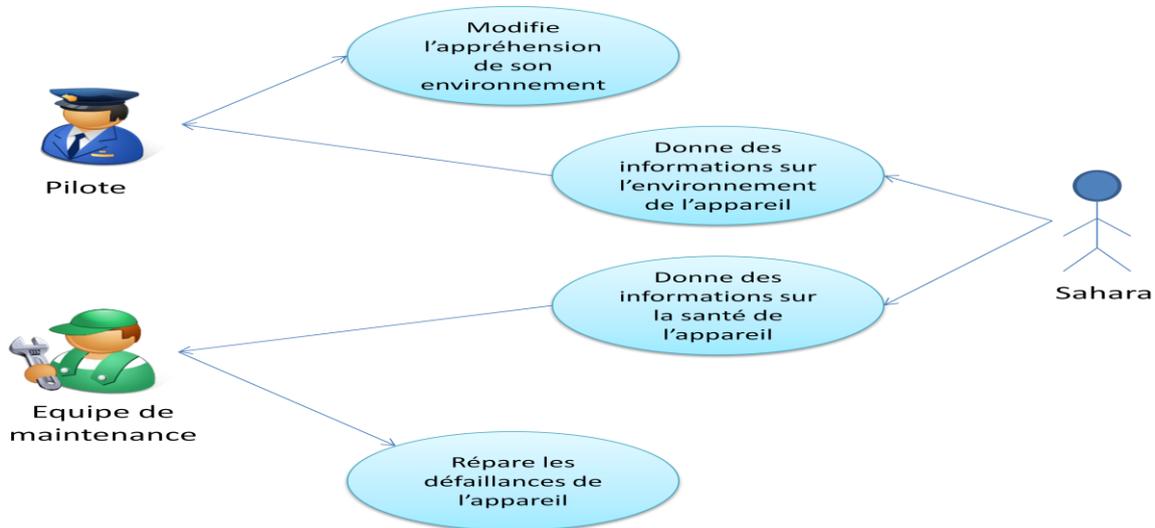


Figure 21 : cas d'utilisation hélicoptère et avion

Diagramme d'utilisation pour lanceur : le contexte opérationnel des lanceurs diffère du contexte avion ou hélicoptère car l'utilisation du système SAHARA n'est pas la même. Il s'agira la de faire de la télémessure au sol dans le but d'avoir des informations sur l'évolution de l'appareil afin que les équipes de maintenance soient mieux aiguillées et que les équipes de conception affinent leurs paramétrages

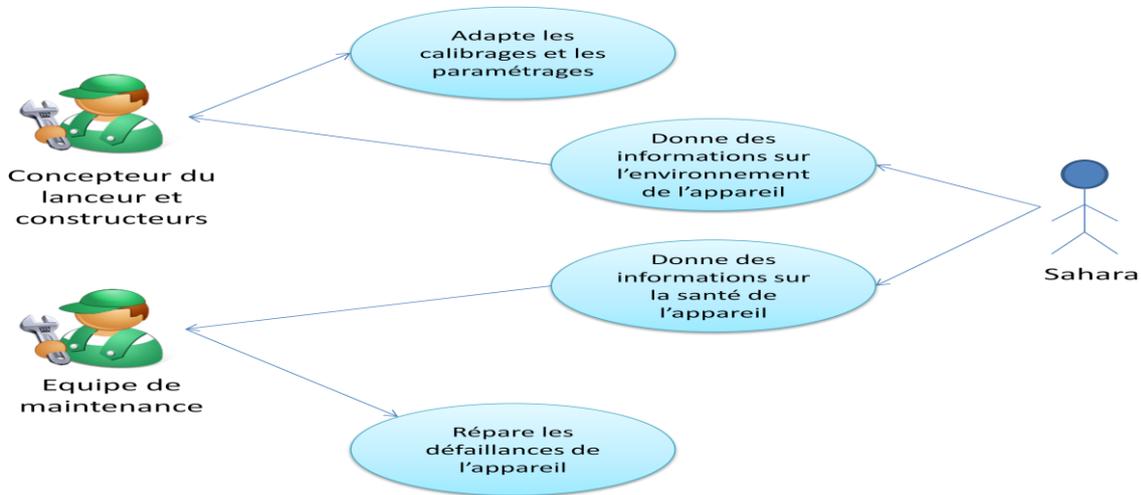


Figure 22 : cas d'utilisation lanceur

### 3.1.3.2. Scenario opérationnel

Un scénario opérationnel d'un système est une spécification dynamique d'un contexte opérationnel où l'on décrit la succession des activités (couplées) et des échanges entre les systèmes externes et le système qui couvrent l'ensemble du contexte considéré

Voici le scénario opérationnel que l'on peut construire autour du contexte hélicoptère ou avion du pilote dans les deux cas de données possibles (normal et anormal)

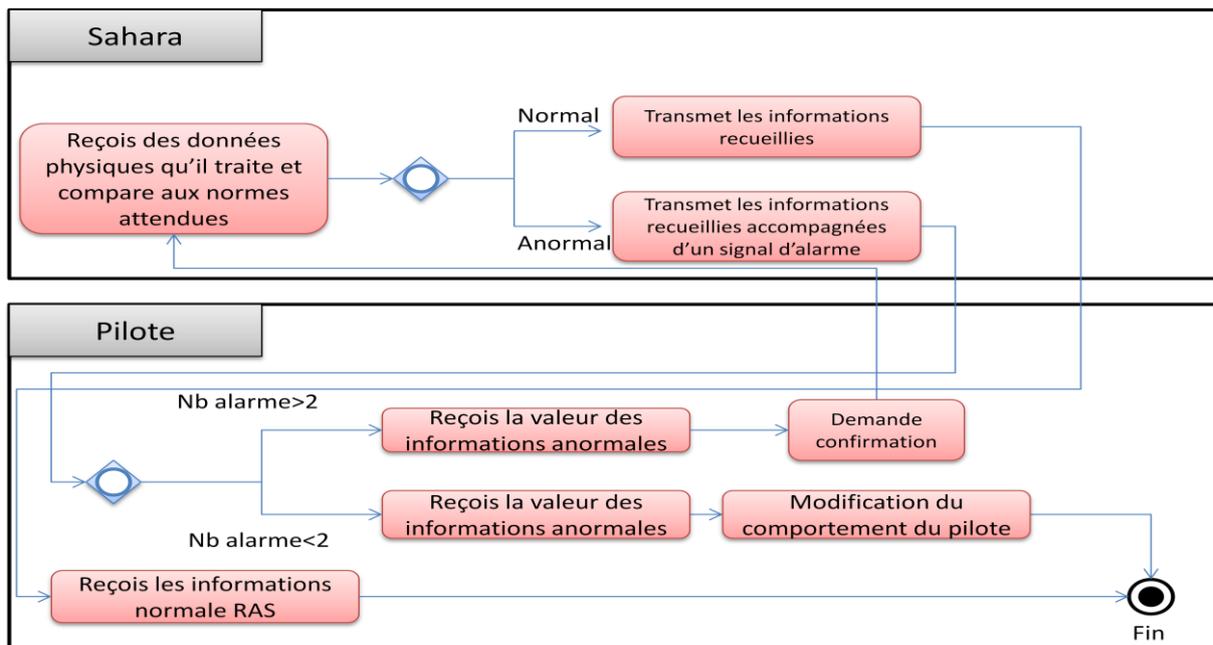
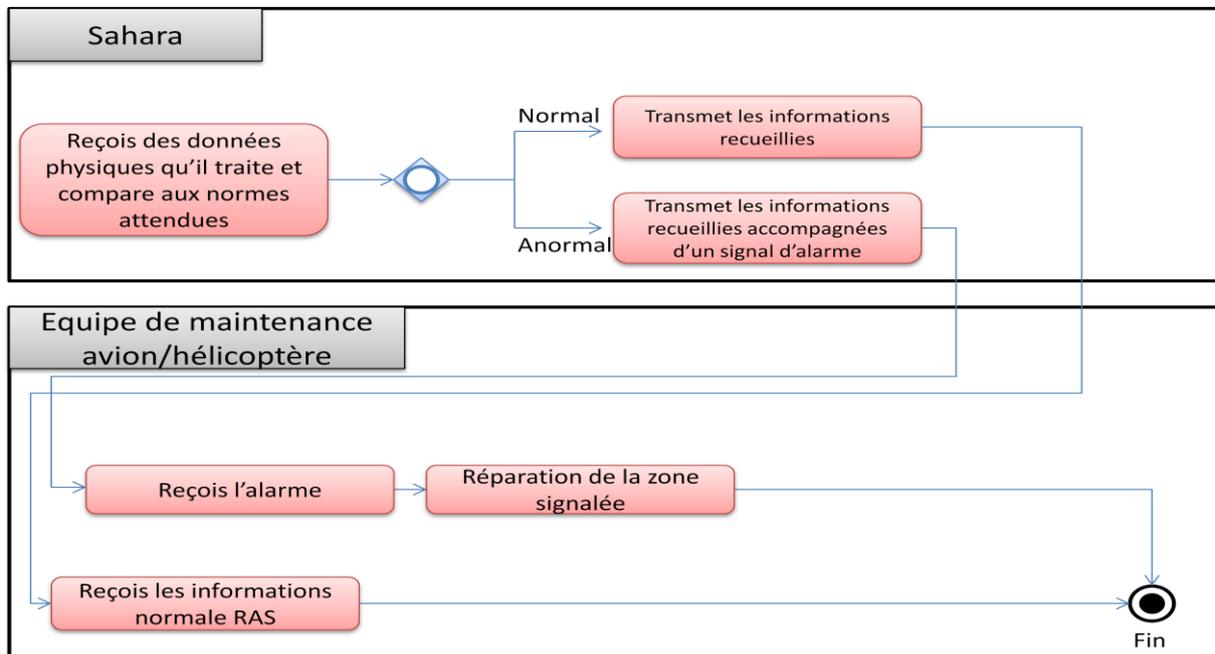


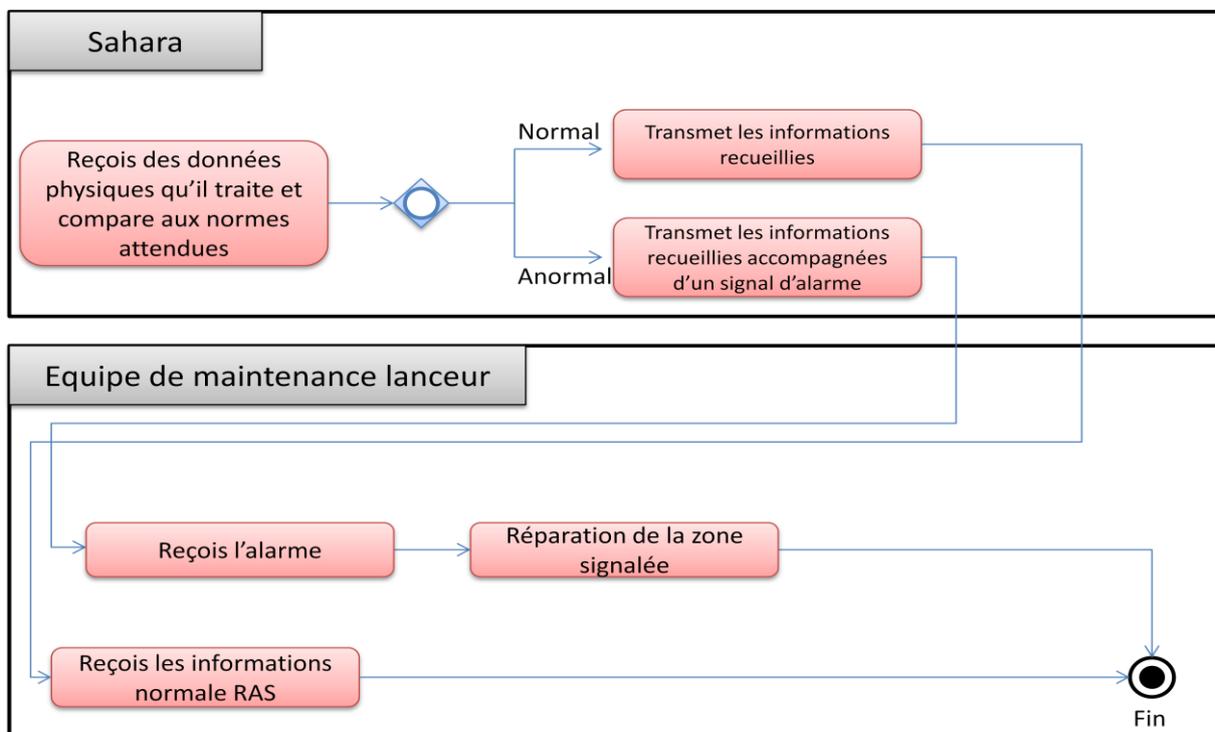
Figure 23.1 : scénario opérationnel Sahara/pilote avion et hélicoptère

Ici on représente le scenario opérationnel que l'on peut construire autour du contexte hélicoptère ou avion de l'équipe de maintenance quand du matériel est détecté comme défaillant (contrôle de santé de l'aéronef)



**Figure 23.2 : scenario opérationnel Sahara/équipe de maintenance avion hélicoptère**

Voici le scenario opérationnel construit autour du contexte lanceur de l'équipe de maintenance quand du matériel est détecté comme défaillant (contrôle de santé de l'aéronef)



**Figure 23.3 : scenario opérationnel Sahara/équipe de maintenance lanceur**

Le scénario opérationnel que l'on peut construire autour du contexte lanceur de l'équipe de conception pour de la télémessure aidant à améliorer l'appareil

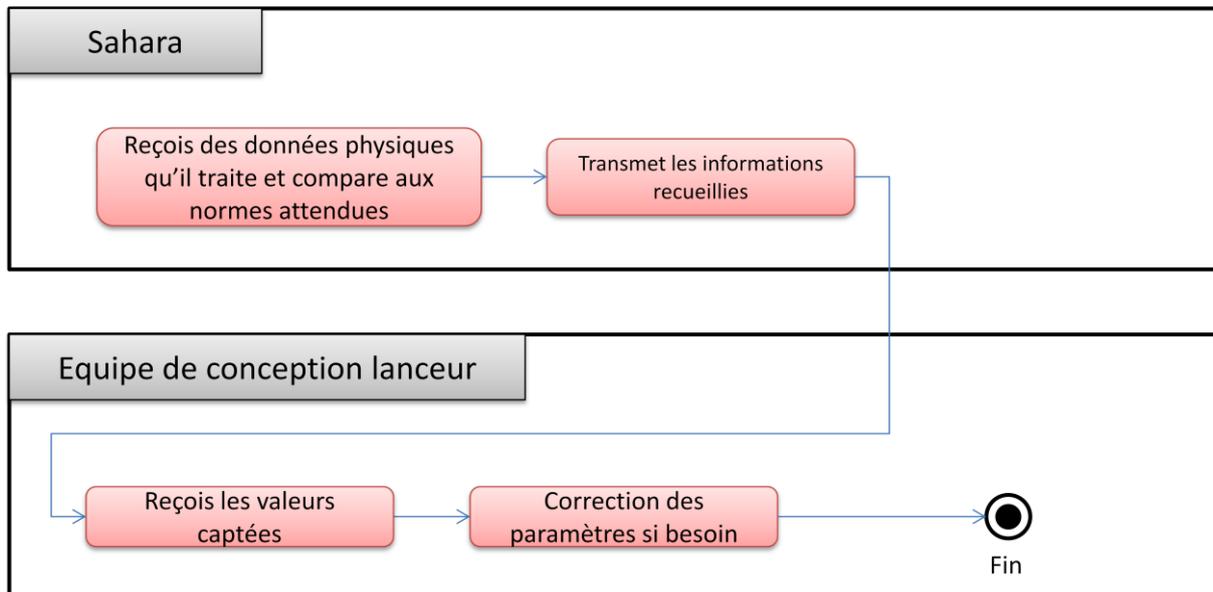
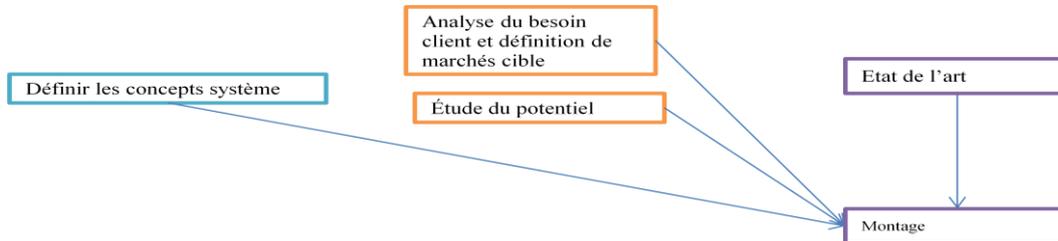


Figure 23.4 : scénario opérationnel Sahara/équipe de conception

### 3.2. Montage

La phase de montage d'un projet sert à convaincre des financeurs (institutions, investisseurs, direction financière etc..) de financer l'innovation. Pour ce faire, il faut apporter certains arguments qui permettront de mieux comprendre ce que l'on cherche à réaliser.



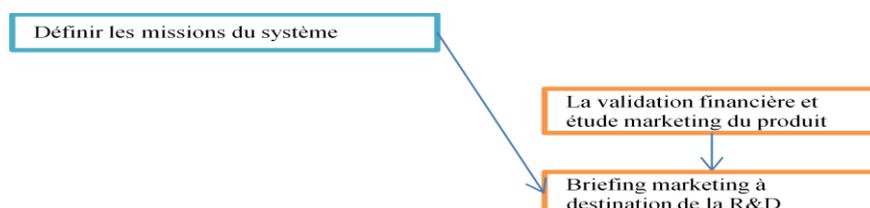
#### 3.2.1. Briefing marketing : levée d'une incompréhension :

Lors de la conception d'un nouveau produit de nombreuses incompréhensions peuvent survenir du à un manque de communication entre les entités actrices. Il est de bon ton de préparer des outils permettant de bien se faire comprendre. On distingue bien trois mondes.

- Le client qui exprime un besoin, paie pour la réalisation d'un système répondant à ses besoins et utilise, grâce à une documentation fournie, ce système.
- Les techniciens qui conçoivent et produisent un système ainsi que la documentation relative, de même qu'ils en assurent la maintenance.
- Les commerciaux, consultants, responsables marketing, et même parfois les chefs de projet, qu'on regroupera dans la catégorie orienté business sont responsables de la récupération des besoins et de la vente du système.

Le client n'exprime pas toujours ses besoins, contraintes et exigences de façon très claire. C'est pourquoi il est essentiel pour que l'information passe bien entre le client et les responsables business de faire plusieurs entretiens, brainstorming et séances de formalisation. Mais une fois que les besoins sont récoltés, la difficulté réside dans la communication entre le monde orienté business et le monde orienté technique.

Avec les éléments réunis d'un coté sur la potentialité du système et sur les clients cibles, et d'un autre coté sur les missions que l'on souhaite voir accomplir notre système, un briefing entre le département commercial et marketing et le département technique de recherche et développement doit être organisée à ce stade afin de faire communiquer ces deux entités et d'arriver à une entente. Cette étape ne peut être réalisée qu'après les conclusions des étapes précédentes de façon à avoir un maximum d'information pour faciliter la compréhension de tous. Cependant étant donné que le cadre ici est un projet de recherche et non pas l'industrialisation d'un produit, le département marketing et commercial ne fait pas parti des acteurs ici (comme mentionné dans l'analyse PESTEL réduite) et n'ont donc pas été sollicités.



### 3.2.2. Cartographie générale

Cette cartographie permettra de lier les besoins et les contraintes dues aux contextes opérationnels avec les missions du système. Elle servira de point d'appui simplifié pour les non techniciens. Elle évoluera dans un premier temps en fonction des diverses rencontres avec le client puis elle permettra de donner les indications nécessaires aux techniciens pour la conception du système répondant aux besoins

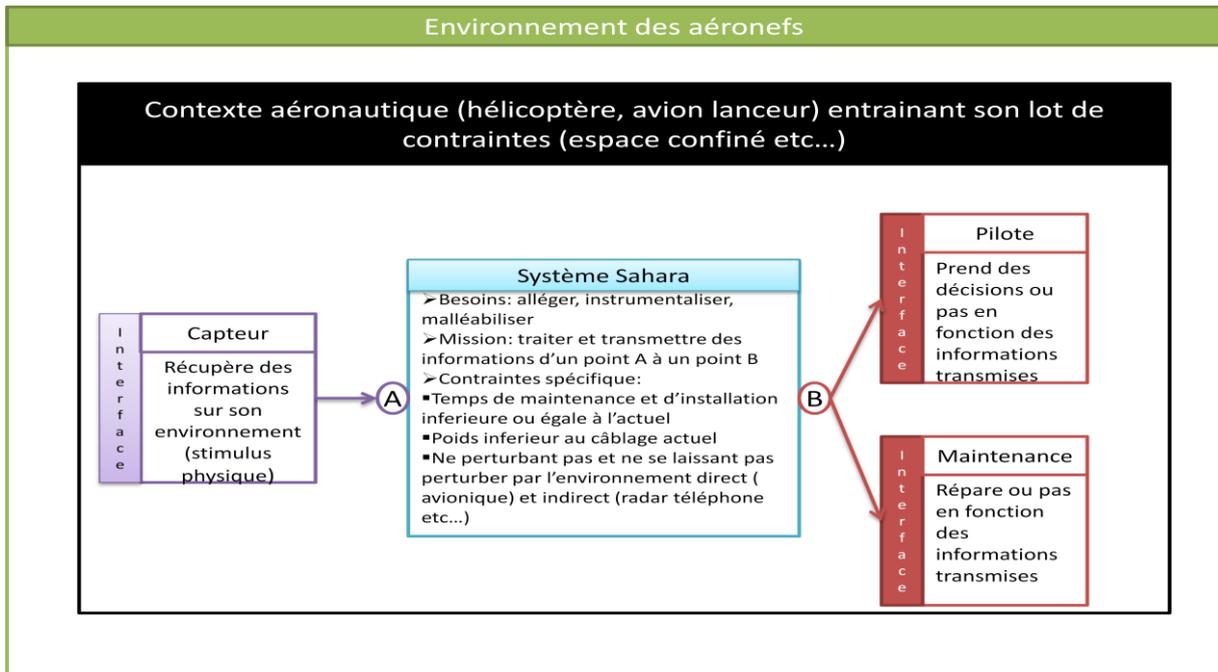


Figure 24 : cartographie générale

Le schéma ci-dessous [Krob3] récapitule les différentes étapes que nous avons suivies afin d'étudier tous les scénarios possibles depuis le §3.1.2.3

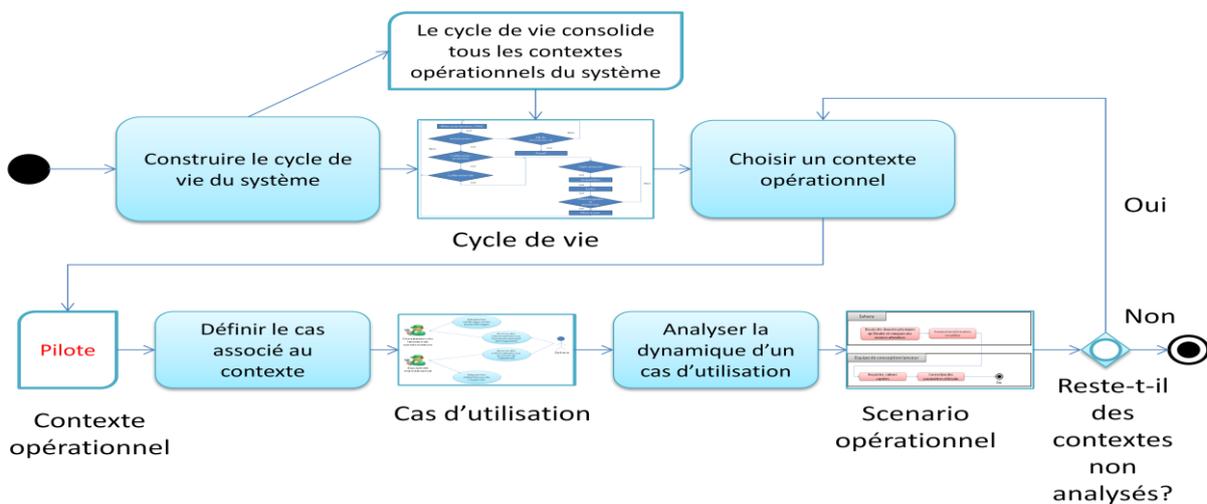


Figure 25 : boucle des scénarios opérationnels

### 3.2.3. Plan d'action : feuille de route, diagramme de Gantt

Maintenant que le système a été défini, qu'un besoin a clairement été identifié, que la potentialité du système est avérée, et qu'un état de l'art a été rédigé, un projet autour de la conception de ce système peut être lancé et un financement demandé mais pour se faire, il faut présenter un certain nombre d'éléments comme la feuille de route que nous entendons suivre, le planning du projet et les livrables disponibles à chaque étape afin de rassurer nos financeurs

Pour informations voici le découpage en lots que nous avons réalisé pour le projet SAHARA (sur lequel cette thèse se base) qui comme on l'a mentionné plus haut s'inscrit dans un programme FUI (fond unique interministériel). Ce projet est mené par EADS est incluse dans son consortium

- Des donneurs d'ordre/utilisateur finaux : ASTRIUM ST application Lanceurs, EUROCOPTER, EADS Innovation Works application AIRBUS et SAFRAN
- Des PME : GLOBALSYS, BEANAIR, Reflex-CES, OKTAL (simulation propagation)
- Et des académiques : ECE INRIA, EPMI
- Avec l'aimable participation du CNES Direction des Lanceurs

LOTISSEMENT		Sorties
Lot 1 Coordonné par les donneurs d'ordre/ utilisateurs finaux	Définition des exigences	Architectures et contraintes
Lot 2 Coordonné par les laboratoires de recherches	Adaptation et durcissement des technologies	Technologies prêtes à l'intégration
Lot 3 Coordonné par les constructeurs	Fabrication et essai des démonstrateurs	Démonstrateurs fonctionnels
Lot 4 Coordonné par les simulateurs	Adaptation des outils de validation	Outils de validation prêts à l'emploi
Lot 5 Coordonné par les utilisateurs finaux	Validation globale des démonstrateurs	Démonstrateurs TRL5 et mesure des performances atteintes

#### Découpage en lot du projet SAHARA

Le projet SAHARA est subventionné sur trois ans et la répartition du temps sur les lots se fait comme suit :

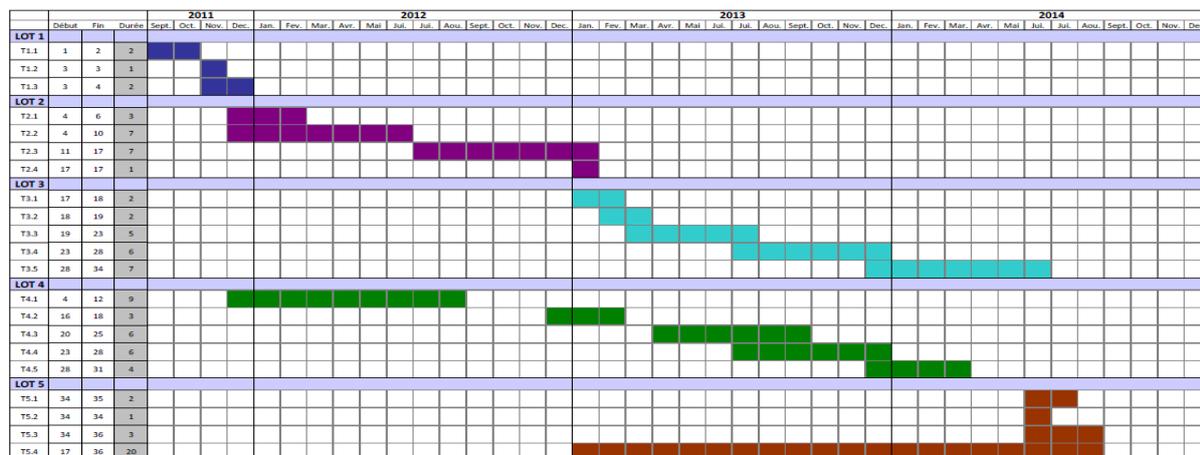


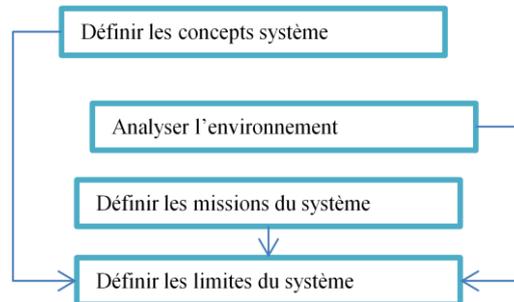
Figure 26 : GANTT du projet SAHARA

Il est primordial que chacun sache exactement ce qu'il doit faire avant de lancer le projet, le cas échéant le taux d'échec s'avère être relativement important.

Mentionnons ici que cette thèse a servi pour le montage du projet (la phase amont et la présentation pour la levée de fond), le lot1 (que nous verrons plus tard dans le chapitre 4), le lot 2 et une partie du lot 3 (comme nous le verrons dans le chapitre 5) et que certains paragraphes écrits pour les besoins de ce mémoire ont été utilisés dans les livrables de ces lots.

### 3.3. Définition des limites du système : périmètre du produit et définition du système

Dans cette étape il est nécessaire de déterminer ce qui fait partie du système et ce qui fait partie de l'environnement (ce qui n'est pas forcément évident pour certains systèmes et en particulier pour celui que nous étudions là). On procédera alors par élimination grâce aux éléments récoltés dans la définition du concept système concernant les entrées et sorties, ce qui est proche mais ne fait pas parti du système cible et qui de ce fait partagera une interface avec notre système. D'autre part après avoir défini les missions du système on pourra identifier des modules composant le système cible



Le résultat attendu de cette étape sera une définition de ce que l'on considère faisant partie du système : ensemble des modules et interfaces. Le but ici est d'avoir une vision claire de l'effort d'innovation à fournir (et à retrouver en §3.3.3) afin de ne pas réinventer l'existant et d'écarter les verrous technologiques qui n'en sont pas.

#### 3.3.1. Un système borné

Rappelons la configuration générale de notre système

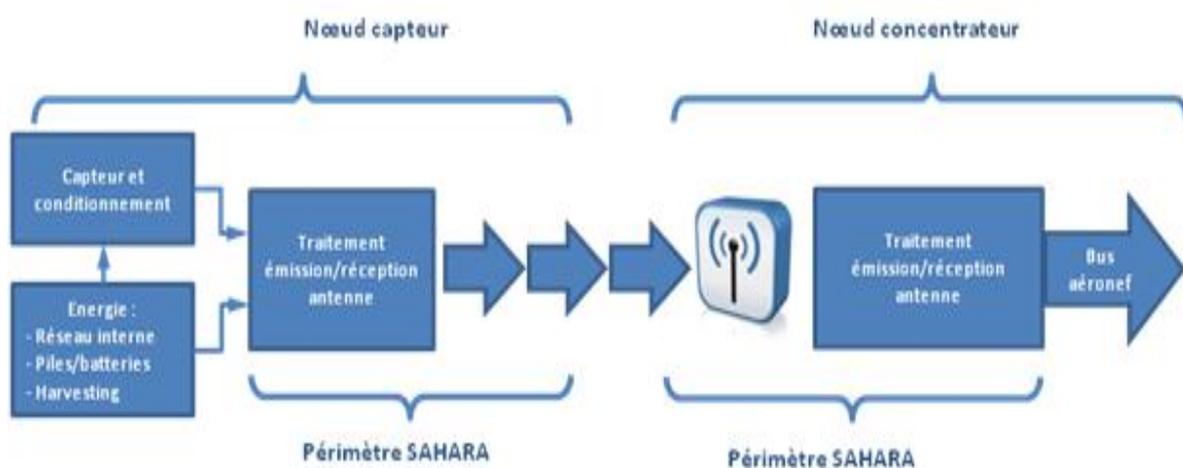


Figure 27 : périmètre de SAHARA

D'après les étapes précédentes et l'analyse effectuée en § 2.5 on peut résumer le concept du système SAHARA à un système de communication sans fil embarqué à bord d'un aéronef dont la mission (comme pour beaucoup de systèmes de communication intelligents) est de :

- Recevoir des données physiques d'un capteur
- Traiter pour en faire un message transportable
- Analyser l'information et la comparer avec les valeurs standards
- Mémoriser, selon l'application et les besoins, l'information reçue
- Transmettre le message au centre de décision relié au Bus, interface entre SAHARA et l'aéronef
- Alarmer les utilisateurs direct (pilote, maintenance, concepteurs) si l'information diffère trop de la valeur standard attendue

L'environnement direct entrant en interaction avec notre système est un aéronef dont les bornes seront les capteurs en entrée et l'interface homme machine.

Détaillons maintenant ce système en le décomposant en bloc chacun responsable d'une mission et entourons-le des blocs d'entrée et de sortie

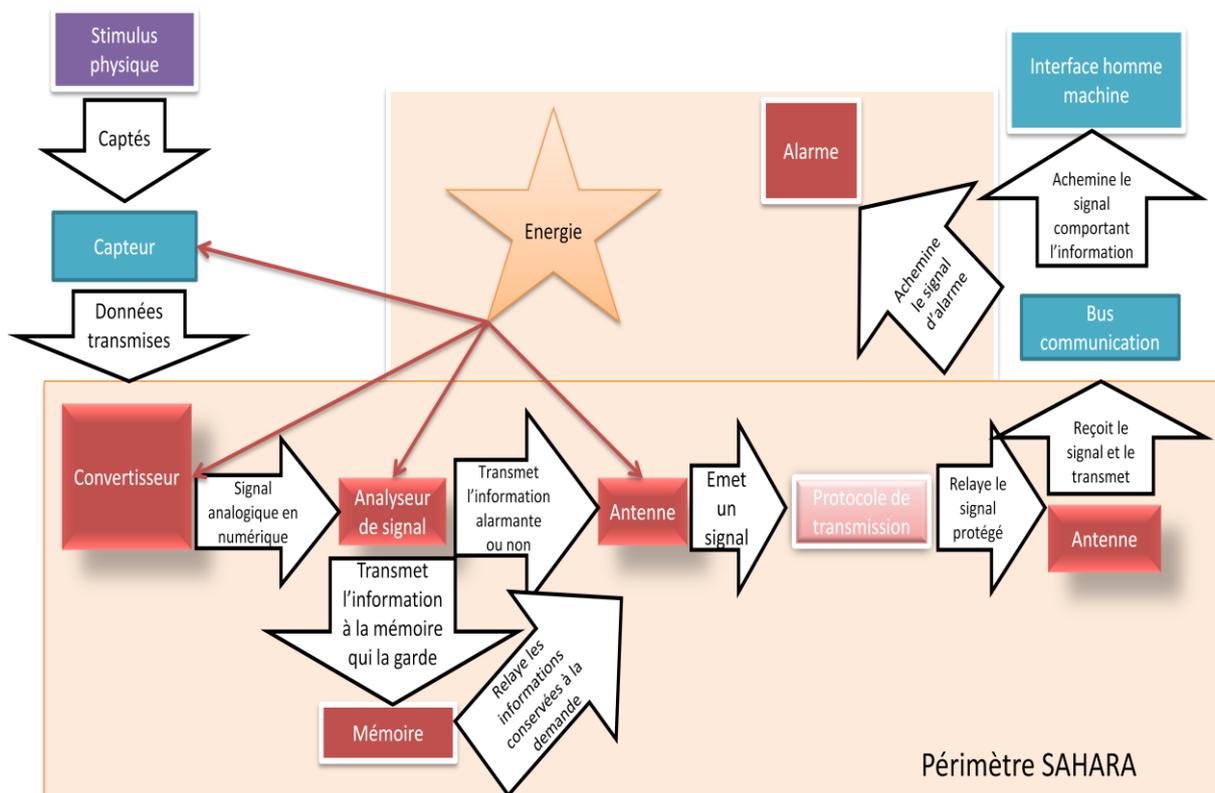


Figure 28 : SAHARA par bloc

Ces blocs s'organisent en module comme suit

- Module 1 : capteur déjà existant sur un aéronef
- Module 2 : traitement qui inclut le convertisseur ainsi que ses interfaces avec le capteur et l'analyseur.

- Module 3 : analyse qui inclut l'analyseur et ses interfaces avec le convertisseur et l'antenne.
- Module 4 : mémoire
- Module 5 : émission qui inclut l'antenne émettrice
- Module 6 : canal sans fil qui inclut l'ensemble des ondes transportant l'information et organisée selon un protocole défini
- Module 7 : réception qui inclut une antenne réceptrice et une antenne émettrice (la même mais qui change de mission selon le besoin)
- Module 8 : bus communication déjà existant dans un aéronef
- Module 9 : interface homme machine (utilisée pour les capteurs déjà existants mais nécessitant probablement quelques adaptations pour s'interfacer avec notre système)
- Module 10 : alarme
- Module 11 : énergie

SAHARA inclut donc les modules : 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, et 11 même si les aspects énergie, comme on l'a sous entendu auparavant et comme on l'expliquera précisément plus tard ne seront pas traités dans le projet SAHARA. Cependant, comme le système SAHARA devra disposer de sa propre alimentation, le module énergie rentre tout de même dans le périmètre système.

### 3.3.2. Point focal de l'innovation discussion par bloc

Reprenons bloc par bloc le système envisagé et évaluons le gap technologique à franchir

#### 3.3.2.1. Les capteurs

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie), on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique.

Dans les systèmes automatisés séquentiels la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète), analogique (dans ce cas il faudra adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique).

On peut caractériser les capteurs selon deux critères:

- en fonction de la grandeur mesurée; on parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc.;
- en fonction du caractère de l'information délivrée; on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut

être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques, pneumatiques.

Principales caractéristiques des capteurs :

- L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- La précision : c'est la capacité de répétabilité d'une information position, d'une vitesse,...

Dans notre cas des capteurs sont déjà présents à bord des aéronefs. C'est la raison pour laquelle le système devra être compatible avec les capteurs déjà existants et s'adapter aux futurs capteurs qu'on souhaiterait voir implémentés. L'effort d'innovation ne sera donc pas concentré sur les capteurs car le sujet a déjà été largement balayé auparavant et le sera sans doute encore

### *3.3.2.2. Traitement du signal : convertisseur analogique-numérique dans le cas où le capteur n'en comporte pas*

Un convertisseur analogique-numérique (CAN, ADC pour Analog to Digital Converter) est un montage électronique dont la fonction est de générer à partir d'une valeur analogique, une valeur numérique (codée sur plusieurs bits), proportionnelle à la valeur analogique entrée. Le plus souvent il s'agira de tensions électriques. Il existe plusieurs solutions pour convertir un signal analogique en signal numérique. Elles sont classées ici dans l'ordre de la moins rapide à la plus rapide.

**Convertisseur à simple rampe :** On réalise au moyen d'un compteur et d'un convertisseur numérique-analogique une rampe de tension. Un comparateur arrête le compteur lorsque la tension créée par le Convertisseur numérique-analogique atteint la tension à convertir. Le compteur indique alors le résultat sur N bits, qui peut être stocké ou traité. Leur temps de conversion qui évolue avec la tension à convertir en fait un outil peu utilisé.

**Convertisseur à double rampe :** Cette évolution des convertisseurs à simple rampe permet de s'affranchir de la dérive naturelle des composants qui le composent. Son fonctionnement repose sur une comparaison entre une référence et le signal à convertir.

**Convertisseur à approximations successives :** Très proches en termes de composition des convertisseurs à simple rampe, les convertisseurs à approximations successives (aussi appelées pesées successives) utilisent un processus de dichotomie pour traduire numériquement une tension analogique. Les convertisseurs à approximations successives ont des temps de conversion de l'ordre de la dizaine de microsecondes, pour des résolutions d'une douzaine de bits environ.

**Convertisseur Sigma Delta :** Ce type de convertisseur est basé sur le principe du sur échantillonnage d'un signal d'entrée. Ces convertisseurs sont très adaptés à la conversion de signaux analogiques issus de capteurs dont la bande passante est souvent faible. Les technologies Sigma-Delta ont quasi totalement remplacé les technologies à simple ou double rampe.

**Convertisseur flash :** Le principe est de générer  $2^N - 1$  tensions analogiques au moyen d'un diviseur de tension à  $2^N$  résistances. Les  $2^N - 1$  tensions obtenues aux bornes de chacune des résistances sont ensuite comparées dans  $2^N - 1$  comparateurs au signal à convertir. Un bloc logique combinatoire relié à ces comparateurs donnera le résultat codé sur  $N$  bits en parallèle. Cette technique de conversion est très rapide, mais coûteuse en composants et donc utilisée pour les applications critiques.

Les convertisseurs Flash ont des temps de conversion inférieurs à la microseconde mais une précision assez faible (de l'ordre de la dizaine de bits). Ce convertisseur est souvent très cher.

Pour les besoins de SAHARA on pourra se contenter vu les contraintes de prix, d'énergie et de déterminisme d'un convertisseur à approximations successives ou d'un Sigma Delta. C'est la raison pour laquelle ici encore on ne se concentrera pas sur ce module.

### 3.3.2.3. Analyse :

Il s'agira de comparer les données reçues avec des données normales. Ce module, sera composé d'un algorithme simple

- Comparer  $X_n$  échantillon et val  $X$  normale
- Si  $X \text{ normale} - y\%(X \text{ normale}) < X_n \text{ échantillon} < X \text{ normale} + y\%(X \text{ normale})$
- Alors envoyer  $X_n$  échantillon
- Si  $X \text{ normale} - y\%(X \text{ normale}) > X_n \text{ échantillon}$
- Ou  $X_n \text{ échantillon} > X \text{ normale} + y\%(X \text{ normale})$
- Attendre  $X_{n+1}$  échantillon
- Si  $X \text{ normale} - y\%(X \text{ normale}) > X_{n+1} \text{ échantillon}$
- Ou  $X_{n+1} \text{ échantillon} > X \text{ normale} + y\%(X \text{ normale})$
- Alors envoyer  $X_{n+1}$  échantillon et message d'alarme

La valeur  $X$  représente la grandeur physique considérée

La valeur  $y$  est l'écart consenti entre la valeur normale et la valeur mesurée (le pourcentage d'erreur acceptée)

Ce module n'existant pas sur le système actuel il devra être créé mais ne représente pas un effort d'innovation majeure

### 3.3.2.4. Mémoire

On aura selon l'application besoin de mémoire temporaire type buffer en l'occurrence pour faire des comparaisons entre deux mesures. De même, les données reçues de l'extérieur seront stockées dans des tampons en attente de leur analyse et leur acheminement (pour des raisons

d'efficacité, et aussi pour éviter qu'une réception de données trop rapprochées fasse que certaines, non traitées, ne soient perdues).

Une réception trop rapide peut elle aussi bloquer le tampon, avec risque de perte de données ; aussi on pourra dans certains cas très déterministe utiliser un dispositif de contrôle de flux disant à l'émetteur de stopper son émission quand le tampon est dangereusement près de la limite, et de recommencer quand le niveau est redevenu acceptable.

La miniaturisation des circuits intégrés aidant, les mémoires tampons se présentent maintenant sous forme d'une mini carte rectangulaire " barrette ". Nous n'aurons donc pas à nous préoccuper de ce point là

Il existe un large éventail de module de mémoire (Simm, Dimm, SDRAM, RIMM) et le système SAHARA n'a pas besoin de compter de module mémoire trop performant si ce n'est qu'il faudra faire attention à la consommation

### *3.3.2.5. Émission/réception : les antennes*

L'**antenne** est le dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou, de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques. L'antenne est un élément fondamental du système SAHARA et ses caractéristiques de rendement, gain, diagramme de rayonnement influencent directement les performances de qualité et de portée.

Très généralement, une antenne radioélectrique convertit les grandeurs électriques existantes dans un conducteur ou une ligne de transmission (tension et courant) en grandeurs électromagnétiques dans l'espace (champ électrique et champ magnétique), ceci en émission et inversement en réception. En émission, la puissance électrique est convertie en puissance électromagnétique et c'est l'inverse en réception.

Les caractéristiques principales d'une antenne sont :

Les fréquences d'utilisation : dans le cas de SAHARA, imposé par l'ITU [ITU]

Le diagramme de rayonnement : L'antenne rayonnant de la même façon dans toutes les directions, est un modèle théorique irréalisable dans la pratique. En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace, certaines directions étant privilégiées. Le diagramme de rayonnement complet peut être résumé en quelques paramètres utiles :

La directivité de l'antenne dans le plan horizontal : Une antenne équidirective ou omnidirectionnelle rayonne de la même façon dans toutes les directions du plan horizontal. C'est la raison pour laquelle on préférera celle-ci dans SAHARA

Le gain définit l'augmentation de puissance émise ou reçue.

Les lobes et zéros secondaire : les directions des émissions d'une antenne sont représentées par les lobes dans lesquels l'antenne rayonne. Aux angles proches du lobe principal de rayonnement, une antenne présente des minima et maxima relatifs appelés « lobes secondaires » qu'on tente de minimiser. Les antennes à grande directivité présentent également des lobes faibles et irréguliers dans tous les autres angles, appelés « lobes diffus ». Le niveau général de

ces lobes secondaires décrit la sensibilité de l'antenne au brouillage ce qui nous importe beaucoup dans SAHARA en effet une direction où le gain est faible peut être mise à profit pour éliminer un signal gênant (en réception) ou pour éviter de rayonner dans une région où il pourrait y avoir interférence avec d'autres émetteurs.

Le rendement : La somme des puissances émises dans toutes les directions définit la puissance effectivement rayonnée. Le rapport avec la puissance fournie par la ligne de transmission définit son rendement. On essaiera dans la mesure du possible d'avoir le meilleur rendement mais encore une fois cela ne sera pas la préoccupation première dans la conception du système au vu des efforts d'innovation déjà en cours de réalisation à ce sujet.

Perturbation d'une antenne par son environnement immédiat : Les objets métalliques situés à une distance de l'ordre de la longueur d'onde pourront produire un effet d'ombre dans la direction considérée, si leur dimension est elle-même de l'ordre de la longueur d'onde ou plus, mais il s'agit là plutôt de phénomènes de "masque" que de perturbations proprement dites.

On sait modifier volontairement les caractéristiques de rayonnement d'un élément rayonnant, par l'adjonction de conducteurs à proximité de cet élément. En revanche des perturbations cette fois non désirées du fonctionnement même de l'antenne apparaîtront par la présence de corps conducteurs, dans l'environnement immédiat de l'antenne.

En conclusion, une problématique importante sur les modules d'émissions et de réception (transmission) va se poser. Une partie des verrous technologiques concernant la propagation des ondes et l'intégrité du message pourrait être levée si l'on parvient à construire une architecture correcte de l'ensemble du module permettant d'éviter les obstacles et d'assurer la bonne transmission des données

Le module de transmission incluant les antennes émettrice, réceptrice et répétitrice du signal (reçoit et réémet le signal) peut se décomposer en un diagramme de bloc comme suit

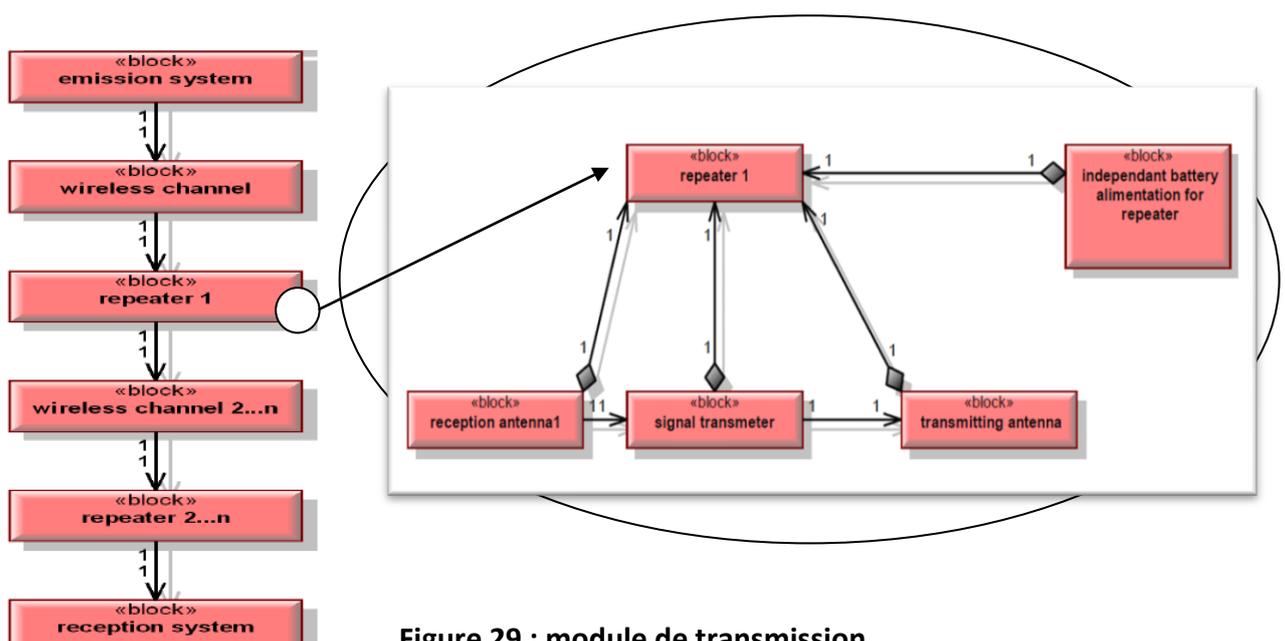


Figure 29 : module de transmission

### 3.3.2.6. Protocole de communication par le canal électromagnétique sans fil.

Le point focal de l'innovation réside sur le protocole et le canal choisi pour le transporter.

Comme mentionné plus haut dans le § 2.1.3, on a envisagé plusieurs types de canaux sans fil du moins commun (ondes optiques) au plus incommode (les ondes sonores) en passant par les plus absurdes (message codé par de la fumée à la mode indienne mais pour des raisons de sécurité il est fortement déconseillé d'allumer un feu à bord d'un avion...)

Enfin, il restait les ondes radio électromagnétiques qui sont tout de même les plus utilisées pour transmettre des messages sans fil.

Vint alors la question du protocole à utiliser. De nombreuses normes et protocoles sont disponibles aujourd'hui sur le marché mais aucune ne combine d'une part la sécurité et la sûreté de fonctionnement nécessaire et d'autre part la robustesse dont on aura besoin pour nos applications aérospatiales.

Un état de l'art a été constitué sur les différents protocoles existants. Deux d'entre eux ont été retenus (voir chapitre 2) comme meilleurs compromis car le nombre de technologies disponibles était trop grand pour toutes les considérer jusqu'au bout. Cependant il est certain que ceux-ci ne pourront être implémentés tels-quels et que le protocole utilisé à la fin sera un protocole semi propriétaire.

Rappelons les différentes couches du modèle OSI afin de mieux visualiser où va se situer le problème.

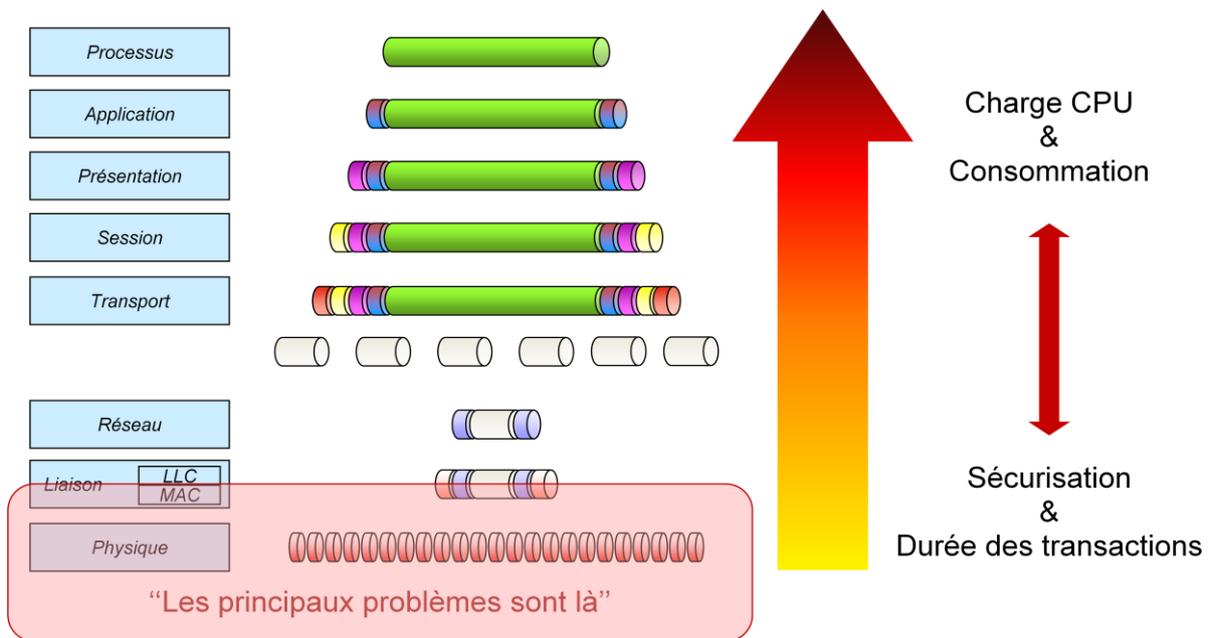
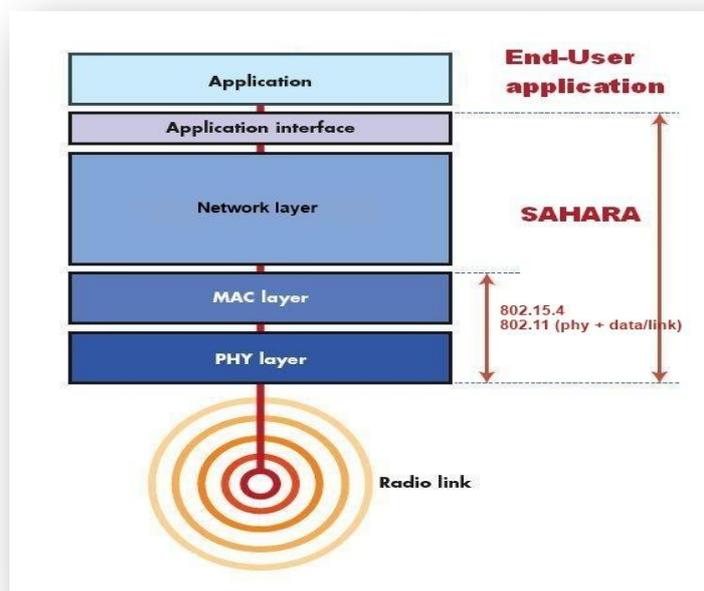


Figure 30 : les différentes couches réseau

Les modifications principales auront lieu sur la couche physique.



**Figure 31 : couche modifiée dans SAHARA**

C'est donc sur la sous-couche basse, celle du contrôle d'accès au support (Media Access Control - MAC) qu'il faudra agir. Les protocoles appartenant à cette sous-couche ont notamment comme fonction de réguler les émissions sur un support donné, en particulier lorsque plusieurs stations indépendantes sont susceptibles d'émettre à tout moment sur le même support. Appartiennent également à cette sous-couche la description des formats de trame (cellule élémentaire du transport d'information) et des méthodes de repérage des stations émettrices et réceptrices (adressage).

Il y a deux formes de contrôle d'accès au support : distribuée et centralisée. Chacune d'elle peut être comparée à une communication entre plusieurs personnes.

- Dans une conversation "distribuée", nous attendons que plus personne ne parle pour prendre la parole. Si deux personnes se mettent à parler en même temps, ils s'arrêteront immédiatement, marqueront un temps d'arrêt et commenceront un jeu long et élaboré pour dire "je vous en prie, à vous d'abord".
- Dans une conversation "centralisée", l'un des participants est expressément chargé de répartir les temps de parole entre les différents interlocuteurs.

Les protocoles de la sous-couche MAC ont également comme attribution de spécifier la manière de séparer les trames : comment détecter sur le support qu'une trame se termine et qu'une autre démarre. Il y a quatre manières d'indiquer les séparations de trames : une méthode basée sur le temps, mais qui en cas de perturbation externe, rend la détection d'erreur difficile hors on ne peut pas se le permettre.

Une méthode par comptage des caractères, facilement perturbée si ce champ devient erroné d'une façon ou d'une autre, ce qui rend difficile la distinction entre trames. Reste donc la méthode par bourrage d'octets (byte stuffing) ou par bourrage de bits (bit stuffing).

### **3.3.2.7. Bus communication/Interface homme machine/Alarme**

Les bus de communication existent déjà et transportent la plupart des informations à bord d'un aéronef c'est ce qu'on appelle le « back bone ». On ne cherchera qu'à implémenter des connecteurs compatibles qui viendront se greffer au système existant.

L'interface homme machine peut se présenter de différentes façons mais encore ici le souhait sera d'être compatible avec l'existant et le prévisible futur

L'alarme pourra être une alarme visuelle ou sonore tout dépendra du cas d'application envisagé il existe déjà des alarmes pour certaines applications donc comme pour ce qui est existant un effort sur la compatibilité doit être fourni mais pour les nouvelles applications il faudra envisager de nouvelles alarmes sans pour autant rendre désagréable les conditions d'utilisation (sollicitations intempestives et non urgentes pour les pilotes ou pour l'équipe de maintenance)

### **3.3.2.8. Énergie**

Le système que nous tenterons de mettre en place aura besoin d'une alimentation indépendante aussi bien pour les capteurs que pour les transmetteurs et pour l'électronique de passage

Cahier des charges : alimentation sans fil de taille réduite ne craignant pas l'environnement du système et durant selon l'application

- 2 ans (pour des applications dont la maintenance sera assurée tous les deux ans)
- 10 ans (pour les applications qui ne sont soumises qu'à la grande révision de l'aéronef qui a lieu tous les dix ans)
- 30 ans (pour les applications qui ne seront pas révisées et qui doivent durer aussi longtemps que l'avion)

On prendra le cahier des charges avion puisque celui est le plus contraignant par rapport au lanceur ou aux hélicoptères.

Ce cahier des charges est extrêmement ambitieux et il constitue à lui seul un effort d'innovation bien trop grand pour être traité dans SAHARA. Il pourrait faire l'objet d'un projet à lui seul (projet qui est d'ailleurs en train de se lancer chez Thales). Aussi nous laisserons cette partie de côté qui sera une entrée possible lors de l'industrialisation

### 3.3.3. Verrous technologiques réels et choix des bornes

L'introduction du « sans-fil » dans un aéronef est très complexe :

- Les ondes électromagnétiques ne se propagent pas bien dans un espace métallique confiné
- Elles sont facilement brouillées par les systèmes de l'aéronef
- Elles risquent de brouiller ces mêmes systèmes
- Beaucoup de composants ne résistent pas aux contraintes environnementales sévères
- Les réseaux sans fil ne répondent pas, en l'état, au niveau de sécurité exigé.

On peut d'ores et déjà dresser une liste assez précise des verrous technologiques que l'on rencontrera lors de la conception de ce système. On peut déduire ces verrous technologiques d'une part des contraintes classiques du milieu aérospatial de sécurité sureté de fonctionnement fiabilité combiné à la situation inédite d'embarquer un réseau sans fil à bord d'un aéronef. Mais aussi aux standards de performance des systèmes qu'on cherche à remplacer et qu'il faudra au minimum atteindre.

#### **Robustesse de transmission (tolérance aux perturbations) et fiabilité**

Le milieu aéronautique et spatial est un milieu contraignant où le matériel est placé dans des conditions extrêmes de confinement, de vibration, de rayonnement, de température et de pression. Les modes de propagation induits par l'environnement aérospatial diffèrent des modèles classiques du fait de ces contraintes. Cependant, pour la plupart des applications, l'intégrité du signal devra être garantie en permanence, voire en temps réel. **SAHARA propose de faire déboucher des technologies dédiées à ces environnements en complétant les études déjà menées par les précédents projets.**

#### **Disponibilité de fréquences et compatibilité électromagnétique**

Un aéronef est soumis à diverses sources d'ondes électromagnétiques capables de créer des interférences vis-à-vis d'un dispositif sans fil, qui lui-même ne doit pas perturber les autres systèmes de bord. De plus les réglementations nationales et l'ITU (Union Internationale des Télécommunications) restreignent les fréquences disponibles. **SAHARA sélectionnera des fréquences en adéquation avec toutes ces contraintes (ne pas être perturbé et ne pas perturber).**

#### **Sécurité (intégrité, confidentialité, usurpation)**

Les liaisons sans fil sont par nature sujettes à interception. SAHARA, en se basant sur la méthode d'analyse des scénarios possibles, sécurisera les communications sans fil pour les rendre utilisables pour un usage embarqué sur aéronef.

#### **Communication sans fil sous contraintes de temps réel et d'énergie**

Les protocoles de communication des capteurs devront intégrer des contraintes applicatives variées. Le respect de contraintes sur les temps de transmission de bout en bout des messages ainsi que le routage économe en énergie, pour des communications à plusieurs sauts, sont encore des problèmes largement non résolus en contexte sans fil. **On prendra soin, pour**

**SAHARA, de rendre les protocoles utilisés les plus économes possible en énergie. On les adaptera de manière à leur faire respecter les contraintes temporelles.**

### Sources d'énergie

Le dispositif SAHARA est sans fil, ce qui implique que le capteur doit idéalement être alimenté indépendamment du réseau de bord, voire être totalement autonome. Il faudra disposer d'une source d'énergie (batterie, récupération d'énergie...) à la durée de vie compatible avec le besoin, en particulier en termes d'environnement thermique et maintenance. **SAHARA s'attachera à réduire la consommation de tous les composants mis en œuvre, mais ne développera pas de source d'énergie spécifique.** Les sources d'énergie et les technologies d'*energy harvesting* évoluent rapidement et les composants commerciaux dérivés de SAHARA utiliseront les meilleures sources d'énergie disponibles au moment de leur intégration sur un aéronef.

### Le poids et la taille :

Tous les éléments devront être miniaturisés pour pouvoir s'adapter aux contraintes imposées par un environnement aérospatial, d'autant plus qu'on essaye bien ici de limiter le poids dû au câblage. **Il ne faudrait donc pas que le nouveau système pèse plus lourd que le système existant.**

### La transmission

L'antenne devra être orientée de façon à émettre avec un minimum de réfraction. L'architecture de l'ensemble du système devra être pensée en ce sens. L'orientation de l'antenne devra aussi prendre en compte les interférences potentielles des émissions de l'avionique environnant et de l'environnement de l'aéronef. La fréquence d'émission devra être soigneusement choisie. Le canal de transmission devra être suffisamment sûr et le protocole devra être suffisamment sécurisé pour transporter des informations certes peu critiques (pour l'instant) mais appartenant au niveau D sur l'échelle de criticité

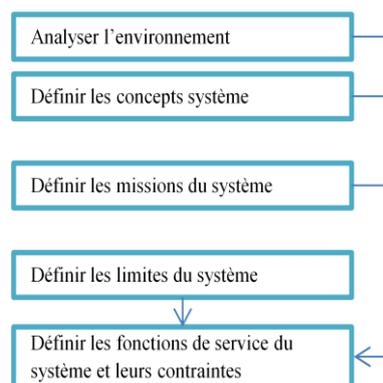
Functional failure condition classification ((AC 23.1309-1C, AC 25.1309-1A and ARP4754)	System development assurance level (ARP4754)
Catastrophic	Level A
Severe major/hazardous	Level B
Major	Level C
Minor	Level D
No Effect	Level E

### Nomenclature cross reference

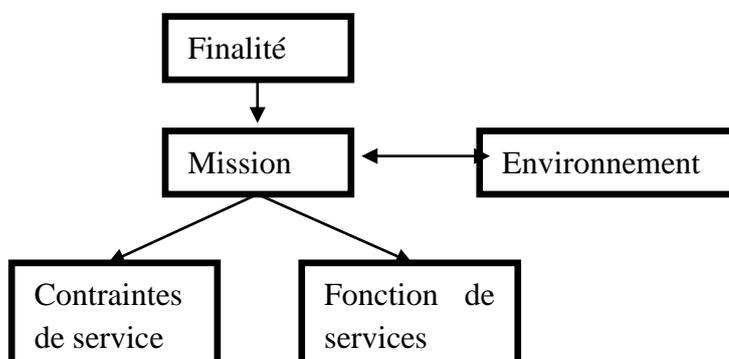
On bornera le système à l'existant que l'on conserve, ce qui veut dire que l'on garde les capteurs tels qu'ils sont, ils ne font pas partie du système que nous considérons. Un module de conversion du signal sera implémenté au besoin. Le système inclus donc le module d'analyse et le module de transmission. Le bus de communication étant déjà installé, il ne saura souffrir d'être modifié pour les besoins du système et n'en fait donc pas partie. Quand aux interfaces homme machine, elles n'ont pas à être innovantes même si de légères modifications seront requises pour interfacier SAHARA. La conception de l'intégralité du système préférera donc choisir une technologie sur étagère si besoin est.

### 3.4. Définition des fonctions de service du système et leurs contraintes

On a précédemment étudié les missions du système qui sont les buts et objectifs généraux que devra atteindre le système pour répondre à la finalité. On considère généralement que les missions opérationnelles du système comprennent des missions d'exploitation correspondant au service à rendre à l'environnement utilisateur (comme on l'a vu dans les différents scénarios opérationnelles : transmettre une information ou déclencher une alarme) et des missions de soutien logistique correspondant au maintien du système en état de rendre ces services. (Fiabilité, sureté de fonctionnement)



Il s'agit là de déduire des missions du système les fonctions constituant les services à rendre par le système à son environnement ainsi que les contraintes (normes règles scenarii performances qui leur sont associées). Les fonctions de services correspondent aux actions attendues du système vis-à-vis de son environnement. Les contraintes de service constituent les conditions imposées à ces actions



[Meinadier01] chapitre 5

On distinguera d'une part les fonctions, et contraintes d'exploitation qui correspondent aux besoins de l'environnement utilisateur du système. Puis on regardera les fonctions et contraintes logistiques qui correspondent aux besoins de l'exploitation et du maintien du système en condition opérationnelles. Elles ont un impact d'une part sur le système opérant qui doit avoir des qualités de fiabilités maintenabilité et disponibilité, et, d'autre part, sur le système de soutien logistique assurant les approvisionnements, le ravitaillement et la maintenance.

Aux contraintes de service peuvent s'ajouter des contraintes organisationnelles ou physiques et parmi les contraintes on trouve la définition des interfaces des systèmes formant l'environnement auxquelles le système devra s'adapter

#### Fonction d'exploitation

- Transmettre une information sur l'environnement de l'aéronef sans fil
- Transmettre une information sur l'état de santé d'un aéronef sans fil
- Transmettre un signal d'alarme sans fil

#### Contraintes d'exploitation associées

- Garantir l'intégrité du canal de transmission
- Garantir la sécurité du protocole utilisé
- Garantir la sureté de fonctionnement des modules du système
- Garantir l'intégrité des informations transmises
- Garantir un temps de transmission acceptable
- Limiter le nombre d'information à transmettre
- Garder en mémoire les informations non transmises utiles
- Garantir le déclenchement du signal d'alarme à juste titre

#### Fonction logistique

- Maintenir un service minimum en cas de panne du système et signaler la panne
- Faciliter la maintenance et l'installation du système
- Ne pas se laisser interférer ni créer d'interférence

#### Contraintes logistiques associées

- Définir un temps maximum d'indisponibilité
- Garantir la fiabilité des modules du système (limiter les pannes)
- Assurer la compatibilité électromagnétique avec l'environnement

#### Contrainte organisationnelle

- La maintenance est effectuée à espacement de temps précis et incompressible

#### Contrainte physique

- Propagation en milieu confiné architecture du système hôte relativement complexe

## **Conclusion de l'approche du système dans son contexte opérationnel : résumé des résultats précédents :**

---

**Définition de la finalité du système §2.1:** On peut résumer l'intention réelle derrière le lancement du projet SAHARA pour la fabrication du système SAHARA à :

- Une meilleure connaissance de l'environnement et de la santé de l'aéronef (par l'installation du système dans des zones difficile d'accès ou déjà construite et pas démontable)
- Une réduction du poids (par une réduction du câblage donc du volume et du poids)
- Une réduction de la complexité (par une simplification du réseau et du matériel embarqué)
- Une augmentation de l'évolutivité (par la malléabilité due à la facilité d'implémentation)
- Une augmentation de la flexibilité (par la modularité due à l'architecture optimisée du système)
- Une augmentation de la fiabilité par la multiplication des redondances

**Définition du concept du système SAHARA §2.5:**

- Réseau de communication sans fil à bord d'un aéronef

**Analyse de l'environnement du système SAHARA §2.7 :**

- Un système dans un système :
- Environnement direct : aéronef (avion hélicoptère lanceur)
- Environnement indirect : environnement de l'aéronef (sol, vol, labo de conception, hangar)
- Parties prenantes :
- Système législatif
- Système ingénierie sociétal
- Système client/ utilisateur
- Système environnement
- Système technologique

**Acteurs (Opérateur/utilisateurs/clients) :**

- Pilote,
- Equipe de maintenance
- Equipe de conception

**La mission « haut niveau » du système SAHARA §3.1 a été identifié comme:**

- Un système chargé d'acheminer des données d'un point A : capteur à un point B : Bus)

### **Les scénarios opérationnels §3.1 :**

- Scénario pilote dans un hélicoptère ou un avion avec des données normal ou anormal
- Scénario équipe de maintenance d'un hélicoptère ou d'un avion quand du matériel est détecté comme défaillant (contrôle de santé de l'aéronef)
- Scénario équipe de maintenance d'un lanceur quand du matériel est détecté comme défaillant (contrôle de santé du lanceur)
- Scénario équipe de conception d'un lanceur pour de la télémétrie aidant à améliorer l'appareil

Ont fait apparaitre deux missions opérationnelles

- Le système SAHARA est chargé de rapporter des informations sur l'environnement et la santé de l'aéronef
- Le système SAHARA est chargé de déclencher une alarme en cas de besoin

### **Le système SAHARA inclut les modules §3.3:**

- Traitement du signal
- Analyse
- Mémoire
- Emission/réception : les antennes protocole de communication par le canal électromagnétique sans fil
- Alarme
- Énergie

### **Le système SAHARA est borné**

- D'un côté par les capteurs
- De l'autre par les bus aéronef

### **Les missions par modules :**

- Recevoir des données physiques d'un capteur
- Traiter pour en faire un message transportable
- Analyser l'information et la comparer avec les valeurs standards
- Mémoriser, selon l'application et les besoins, l'information reçue
- Transmettre le message au centre de décision relié au Bus, interface entre SAHARA et l'aéronef
- Alarmer les utilisateurs direct (pilote, maintenance, concepteurs) si l'information diffère trop de la valeur standard attendue