

Approche opérationnelle en phase amont (phase de montage et de préparation) d'un projet de conception d'un système innovant

Définition de l'innovation : Le manuel d'Oslo de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE) propose les définitions suivantes: « On entend par innovation technologique de produit la mise au point/commercialisation d'un produit plus performant dans le but de fournir au consommateur des services objectivement nouveaux ou améliorés. Par innovation technologique de procédé, on entend la mise au point/adoption de méthodes de production ou de distribution nouvelles ou notablement améliorées. Elle peut faire intervenir des changements affectant – séparément ou simultanément – les matériels, les ressources humaines ou les méthodes de travail »

Non seulement l'innovation de façon macroscopique a un rôle déterminant dans l'impulsion du système économique comme le décrit Dès 1912, Joseph Schumpeter dans la « Théorie de l'évolution économique » [Schumpeter] l'Innovation comme un moteur sinon le moteur de l'Economie. Mais force est de constater aussi qu'à l'échelle de l'entreprise l'innovation (produit ou procédé) sur un marché peut:

- Rendre l'entreprise plus compétitive et entrainer la concurrence à s'aligner
- Entrainer le monopole de l'entreprise sur le nouveau produit
- Rendre libre l'entreprise d'imposer son prix de vente et ainsi dégager un maximum de bénéfices.
- Augmenter la demande, car l'innovation qui apparaît crée de nouveaux besoins.

Le succès d'une innovation ne dépend pas seulement de la performance technologique d'une entreprise. L'ensemble de ses ressources (humaines, techniques, financières, ...) sont en effet des facteurs clé de la réussite d'un projet innovant. Par définition, l'innovation se fonde sur une idée originale. Mais l'innovation réside principalement dans la capacité à transformer ces idées en succès commerciaux. Il existe des méthodes et techniques de travail qui encadrent le processus d'innovation. Malheureusement ces méthodes posent souvent problème. En effet, d'un coté, des ingénieurs sont chargés de la conception d'un nouveau produit. Ils sont créatifs et ont les compétences techniques. D'un autre coté il y a les services orientés « commerce », qui eux sont chargés de promouvoir et de vendre le produit. Maitrisant une certaine conscience du marché et une connaissance de leur clientèle On peut donc diviser le personnel d'une entreprise (en implication direct avec l'innovation) en deux équipes

L'équipe commerciale	L'équipe technique
+ une conscience du marché et une connaissance des besoins	+ compétences techniques
+ une vision commerciale du produit	+ créativité scientifique
- compétences techniques	- une conscience du marché et une connaissance des besoins
- créativité scientifique	- une vision commerciale du produit

Ces deux équipes sont parfaitement complémentaires d'un point de vue logique et l'innovation devrait être le fruit d'une collaboration, seulement ces deux équipes ne communiquent pas. (§3.2.1)

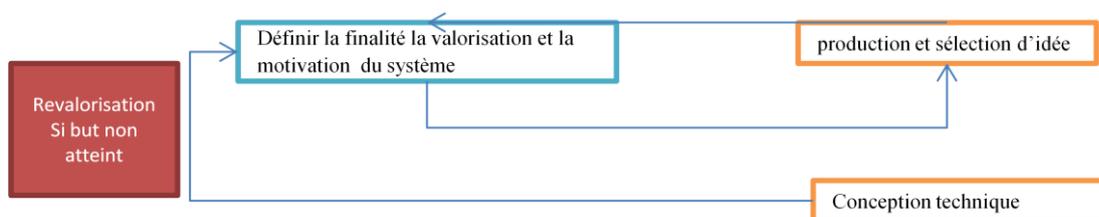
2.1. Une idée, une finalité :

A l'origine de toute innovation on trouve une idée souvent apparue pour une finalité. D'après Peter F. Drucker, le controversé consultant en management autoproclamé écologiste social, l'innovation en général résulte d'un changement (de la structure industrielle, du marché, de la démographie local et globale, et de la perception humaine) dans le savoir faire scientifique déjà disponible. Joseph F. Engelberger (le père de la robotique) affirme que l'innovation requiert seulement trois éléments: un besoin identifié, la compétence des concepteurs et un support financier mais c'est sans compter le hasard et autres aléas de la recherche. En effet une idée peut aussi être issue

- D'un heureux hasard apparu au cours de recherches sur d'autres sujets techniques, (la pénicilline d'Alexander Flemming)
- D'une revalorisation d'un résultat technique qui n'a pas atteint son objectif initial. (le post it de Spencer Silver)
- Elle peut être la réponse à un nouveau besoin client ou à un besoin qui a évolué (de « smallworld » à « facebook »)
- Elle peut émerger lors d'un brainstorming.
- Elle peut aussi être le résultat du développement d'une vision peu claire au départ mais révolutionnaire pas la suite ou très spécifique mais complètement détournée par la suite (Satellite GPS NAVSTAR)

Exemple de post it : En 1970, la société américaine 3M, découvre, lors de recherches effectuées sur un produit qui n'avait rien à voir avec le Post-it, un adhésif qui colle sans coller tout en collant tout de même. Par acquit de conscience, il envoie des échantillons de sa découverte à d'autres laboratoires du groupe 3M sans qu'on trouve d'applications intéressantes dans l'immédiat pour ce produit surprenant. Il faudra attendre 10 ans pour qu'Arthur Fry, un autre chercheur du groupe 3M, trouve par hasard un débouché au futur Post-it : en effet, membre d'une chorale, il cherchait un moyen pour signaler les pages de ses partitions sans abîmer pour autant le papier. C'est ainsi qu'en 1980 il enduit d'une mince couche de ce fameux adhésif « inconnu » les marques-pages volants de ses partitions... et ça marche ! Les petits papillons de papier aux couleurs tendres, qui se collent, se décollent, se recollent à volonté étaient nés. Le nom commercial de « Post-it » a été créé en 1981

Quoiqu'il en soit, on peut toujours essayer de modéliser et de catégoriser les sources des idées d'une innovation mais souvent et ce sera notre cas l'idée prend sa source dans plusieurs de ces catégories. L'idée qui est pourtant la genèse d'une innovation est l'étape qui peut être stimulé mais difficilement contrôlée.



2.1.1. Constat de la situation :

Ce sujet est un sujet innovant personne jusqu'alors n'a fait de constat réel de la situation actuelle concernant les capteurs. Un aéronef comporte (selon le cas) entre 500 et 2000 capteurs. Ces capteurs servent à donner des informations qui facilitent la navigation ou la maintenance. Ils sont utilisés pour la mesure de divers paramètres (températures, pressions, positions...) et les résultats sont ensuite acheminés par des fils vers les calculateurs de bord qui les traitent. Ceci engendre des centaines de kilomètres de câbles, une grande complexité de design et de fabrication, des problèmes de fiabilité notamment au niveau des connexions et une masse importante. Sur un Airbus A380 par exemple, on compte 500 kilomètres de câbles pesant près de 3 tonnes. Une partie de ces câbles sont des canaux de communication entre capteur et centre de décision. L'ensemble de ces installations augmente grandement la complexité de fabrication et les aléas associés.

L'idée de remplacer des réseaux de câble reliant les capteurs des aéronefs par du sans fil vient d'un besoin des équipementiers et des compagnies aériennes d'avoir des appareils toujours plus légers plus fiables et mieux instrumentés.

2.1.2. Finalités désirées

Au départ la motivation était principalement l'allègement mais au vue des technologies disponibles à l'époque, les constructeurs ont vite compris que remplacer des câbles par des réseaux sans fil impliquait une indépendance énergétique et donc un ajout de batterie (qui pesaient aussi lourd que les câbles si ce n'est plus...). La motivation a donc été focalisée sur la malléabilité de l'instrumentation, car en ce qui concerne la fiabilité, effectivement les câbles qui tombent en panne posent de gros problèmes à la maintenance (difficile à localiser et à changer : implique de démonter la portion de fuselage dans lequel il est niché) mais les réseaux sans fil posent d'autres types de problèmes de fiabilité (sans compter les problèmes de sécurité).

- Une meilleure connaissance de l'environnement et de la santé de l'aéronef (par l'installation du système dans des zones difficiles d'accès ou déjà construites et non démontables)
- 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 : plus besoin de tirer des câbles pour installer de nouveau capteurs)
- Une augmentation de la flexibilité (par la modularité du à l'architecture optimisée du système)
- Une augmentation de la fiabilité par la possibilité d'ajouter des redondances de signal sans modifier le poids ni le pourcentage d'encombrement et par le repérage immédiat d'une défaillance sans avoir à localiser le câble responsable

2.1.3. Idées proposées et sélectionnées

Plusieurs options quant au mode de propagation et aux types d'onde propagés sur le réseau sont envisagées. Parmi les ondes mécaniques, les ondes acoustiques étaient candidates puisque n'ayant pas besoin de support (ce qui est notre principale problématique) et parmi les ondes électromagnétiques la piste des ondes lumineuses a été explorée (des applications cabines sont étudiées en Allemagne). Mais l'option des ondes radio est apparue assez rapidement comme une évidence puisque ce sont les ondes les plus communément utilisées pour transporter de l'information et que le temps qui était imparti au projet SAHARA par le FUI ne nous permettait pas de lancer la machine de l'innovation à partir d'un point aussi reculé. Ceci dit si le besoin était moins urgent ces pistes présentaient de nombreux avantages concernant la sécurité et la problématique CEM (pas d'interférences avec le reste de l'avionique) malgré le fait que l'architecture d'un aéronef risquait d'être un obstacle de taille pour ce type d'onde (ces ondes lumineuses ne passent pas les matériaux du fuselage et les ondes sonores auraient pu être désagréable pour les passagers ou les animaux)

2.2. Un état de l'art

Après avoir sélectionné une idée tout en ayant défini la finalité du système qui en résulte, voici un état de l'art technologique listant toutes les technologies susceptibles de convenir au système ainsi que le retour d'expérience sur des projets qui traitent du même type de sujet.



Grace au retour d'expérience il sera possible de souligner les erreurs à ne pas faire ainsi que les verrous technologiques non levés et de disposer d'une liste complète des technologies existantes envisageables.

Simultanément il conviendra de faire une analyse du marché de la concurrence qui sera non seulement basée sur l'idée produite et sélectionnée mais aussi orientée par la motivation du système qui en découlera car en fonction de la motivation un système ne sera pas conçu de la même façon. La concurrence pourra être selon le cas existante, pertinente, potentielle ou absente.

2.2.1. Retour d'expérience

2.2.1.1. Projets aérospatiaux

WISE : (projet Européen FP6): WIREless SENSors. Ce projet a développé des capteurs sans fils basés sur la technologie Zigbee pour avion et hélicoptère. [WISE] <http://www.wise-project.org/index.php?content=description>

Résultat : Dans les conclusions du projet [PRWISE], il est dit que les informations venant des capteurs cessaient d'être transmises lorsque les volets de l'avion étaient levés.

Ce que nous apprend ce projet : un verrou technologique crucial n'a pas été levé dans le sens où le capteur fonctionnait au sol mais pas en vol. On peut aussi émettre une première hypothèse qui seraient que l'architecture du réseau ne prenait pas en compte la mobilité des volets et bloquaient donc la bonne propagation de l'onde. D'autres hypothèse aussi pourraient

être émise comme le fait que les volets seuls ne seraient pas responsables de la mauvaise transmission, et que l'effet est couplé avec les interférences dus à l'avionique embarquée. Il faudra donc prendre en compte ces contraintes dans l'élaboration de notre système.

SACER : (projet Pole de compétitivité Aerospace Valley, AIRBUS partenaire) : Le but de ce projet est l'instrumentation des structures aérospatiales (aile, fuselage, moteur) pour les essais en vol. [SACER] <http://spiderman-2.laas.fr/Club-Affilies/documents/Seminaire23-11-2006/PDF/pres-sace.pdf>

Ce que nous apprend ce projet : Dans ce projet, il n'y a pas eu de certification mais une démonstration que les informations mesurées sont vraies et peuvent donc servir de base à l'obtention de la certification. Le point focal n'était donc pas les contraintes d'intégrité des données transmises puisque les applications d'essais en vol ne l'exigeaient pas. Ce ne sera pas le cas de nos applications mais les recommandations quand aux exigences concernant la consommation énergétique (faire fonctionner le système avec une pile AA était un point névralgique de ce projet) sont intéressantes puisqu'elles ont été atteintes

SWANS: Smart wireless architecture network sensors (projet EUREKA/MEDEA+)[SWANS]

Le projet SWANS (terminé en 2009) avait pour objectif de réaliser un capteur de fissure capable de traiter des données sur petit volume (~20 cm³) et de les transmettre sans fil. Ce système est envisageable pour plusieurs types de capteur mais SWANS s'est focalisé sur les systèmes de « contrôle de santé de l'aéronef ». Le projet est terminé des tests ont été réalisés mais sur le capteur et ses performances (il a été testé avec plusieurs tailles de fissure il rapporte l'évolution de celle-ci et donne aussi des informations sur la température et la pression).

Ce que nous apprend ce projet : Même s'il était focalisé sur les capteurs et non pas sur la transmission d'information sans fil, il est intéressant de noter dans ce projet que la technologie Zigbee a été utilisée pour établir la liaison radio qui recueillait des données utilisées par le personnel d'entretien. Ce standard a été choisi en raison de sa faible consommation d'énergie (30 mA en mode actif, 1,3 μ A en mode hors tension), son débit de données (250 Kbits / sec) et sa portée de transmission de données (jusqu'à 100 mètres). La problématique de la transmission en vol n'a pas été abordée comme elle le sera pour les applications que nous avons choisi mais la dimension de portée sera importante pour nous aussi et comme pour le projet SACER on peut déduire que le ZIGBEE n'est pas trop énergivore.

SWAN (allemand): Sensor wireless autonomous network. [SWAN] Ce projet avait pour objectif d'optimiser l'entretien des aéronefs, leur fonctionnement et leur utilisation, les composants du système avionique doivent être surveillés continuellement au cours de leur vie. SWAN est un catalyseur pour la maintenance préventive en général.

Ce que nous apprend ce projet : Les capteurs amovibles et dont la plate-forme de réseau est fiable n'existent pas actuellement. Il faut noter aussi que des adaptations du protocole de transmission sans fil (modification de la couche mac) seront nécessaires afin de répondre aux exigences de consommation d'énergie. Dans ce projet (dont les conclusions sont

confidentielles et difficiles à obtenir même si EADS Allemagne fait parti du consortium, ils partagent peu, leur résultats avec la France...) le parti a été pris de modifier les technologies sans fil existante au lieu d'en trouver une approximativement adaptée.

AUTOSENS: AUTONomous SENSing microsystem (projet Fondation Aéronautique et Espace, en cours) [AUTOSENS] : Le but de ce projet est de concevoir et réaliser un microsystème de gestion de l'énergie bi-modulaire d'une part pour l'alimentation de capteurs embarqués et d'autre part pour l'interface communicante. AIRBUS est partenaire. Le principe étant d'instrumenter des structures aérospatiales (aile, fuselage, moteur) pour faire du contrôle de santé de structure. Il s'agit la d'évaluer la possibilité d'exploiter et stocker les vibrations mécaniques (récupérer l'énergie de vibrations) pour alimenter un système de contrôle de santé de structure aérospatiale en vol (capteur SHM). Le LAAS a pour cela réalisé un prototype de capteur piézoélectrique ainsi qu'une super capacité. Ils expérimentent également la conversion d'énergie thermo électrique, et étudient par simulation l'électronique de conversion. Cette dernière est à l'heure actuelle le point bloquant. http://www.fnrae.org/1-39841-Detail-projet.php?id_theme=2&id_projet=7

Ce que nous apprend ce projet : le point focal de ce projet n'est, ni les capteurs, ni les réseaux de communication mais la récupération d'énergie de façon autonome pour alimenter des modules eux aussi autonomes comme les capteurs de contrôle de santé de l'aéronef (un exemple parmi d'autres). Ce projet est complémentaire au notre en effet nous avons choisi (mais nous expliquerons les raisons de ce choix plus tard) de ne pas traiter les aspects énergétiques alors que c'est l'une des problématiques majeures de notre système. Notre projet serai une parfaite application d'AUTOSENS. On apprend aussi que des tests ont été réalisés sur des super capacités afin de venir compléter l'énergie vibratoire récoltée qui pour le moment n'est pas suffisante

ASTRAL: Autonomous System for TRANsmission WireLess (CEA-DRT, 3DPlus et EADS Astrium) [ASTRAL]

Afin de démontrer la validité du concept de technologie sans fil applicable au domaine aéronautique et aérospatial, le projet ASTRAL vise à réaliser un démonstrateur représentatif en milieu spatial. Cet objet intégrera un réseau de capteurs d'attitude alimentés par une source d'énergie autonome. Les capteurs triaxes seront de type accéléromètre et magnétomètre, adaptés à la mesure de vibrations auxquelles peuvent être soumis un satellite; la communication sera assurée dans la bande des 2,45 GHz. http://www.fnrae.org/1-39841-Detail-projet.php?id_theme=2&id_projet=6

Ce que nous apprend ce projet : bien que ce projet soit focalisé sur des applications spatiales (moins limitatives que celles qu'on envisage puisqu'on souhaite que notre système soit intégrable aussi bien dans un avion que dans un hélicoptère ou dans un lanceur) il est intéressant de constater qu'ici encore on choisi la bande 2,45 pour émettre (bande du wifi du ZigBee et d'autres protocoles)

2.2.1.2. Projets non aérospatiaux ayant un axe commun

GTB et domotique (programme HOMES de Schneider, WATTECO) : WATTECO, société française spécialisée dans les solutions innovantes de communication dédiées à la gestion énergétique de l'habitat, lance sur le marché un baromètre énergétique, baroWatt™, affichant la consommation électrique du foyer.

Ce que nous apprend ce projet : Le déploiement massif de dispositifs (capteurs intelligents) d'économie d'énergie implique de considérer les contraintes de mémoires, de fiabilité, d'interopérabilité et d'acheminement (en effet les protocoles nécessitant l'intégralité des informations d'état de liaison ne peuvent être envisagés). WATTECO a donc choisi la norme IPV6 car elle permet un déploiement à grande échelle grâce à son espace d'adresse étendu (2^{128} adresses au lieu de 2^{32} pour IPV4).

Télé santé : Le 21 juillet 2006, le nouvel hôpital de Kansas City a achevé les tests sur un système de traçabilité incluant des étiquettes RFID passives pour déterminer si la technologie pouvait améliorer les processus impliqués dans l'admission et le traitement de patients au service des urgences de l'hôpital. Pendant le test, qui a duré plusieurs semaines, on a donné aux patients des étiquettes RFID-PERMISS émettant à 2.4 GHz quand ils ont été admis. Les étiquettes ont été associées aux numéros d'identification des patients lors de leur admission, puis dissocié quand les patients sortaient. Des balises RF stratégiquement placés écoutaient périodiquement les étiquettes RFID à l'intérieur de l'hôpital par le protocole de communication sans fil ZigBee. Les balises transmettaient les données à un concentrateur qui calculait la position du signal envoyé (et donc de l'étiquette). Le test a révélé que ce dispositif permettait de mieux localiser les patients ainsi que d'assurer l'efficacité du personnel hospitalier.

Ce que nous apprend ce projet : la technologie RFID est bien adaptée à des applications dont l'activité n'est pas nécessaire en permanence (typiquement pour du contrôle de santé au sol) ce qui permet aussi une belle économie d'énergie.

Suivi des infrastructures et de l'environnement : De nombreuses PME (en France comme à l'étranger) développent leurs propres produits de surveillance et proposent des solutions personnalisées. INNODEV est une jeune société fondée en 2004 par un groupe d'ingénieurs spécialisés dans les télécommunications. Leur production se concentre sur le développement de solutions personnalisées pour la surveillance d'infrastructure. Le choix technologique de cette entreprise comme celui de beaucoup d'autres s'est porté sur le ZigBee.

JACQUES PANCHARD [Panchard] Ingénieur diplômé en Systèmes de Communication de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse a soutenu une thèse sur l'instrumentation de l'agriculture indienne en capteur sans fils. Il a établi un état de l'art sur ce qui a été fait dans les pays en voie de développement sur le sujet. Le choix technologique concernant le protocole s'est souvent porté sur le 802.11b

Ce qu'on peut déduire de ces types de projet : pour des applications nécessitant des portées autour de 100m on préférera toujours des fréquences 2.4 type ZigBee ou 802.11

Le projet ANR OCARI [OCARI]: (Optimisation des Communications Ad hoc pour les Réseaux Industriels) a proposé une architecture et une pile protocolaire de réseaux de capteurs sans fil pour applications industrielles.

Ce qu'on peut déduire de ce projet : OCARI se distingue des piles protocolaires comme ZigBee, WirelessHART et ISA100.11a.

- Une méthode d'accès au médium RF déterministe supportant le relayage de paquet en temps contraint
- Une stratégie de routage pro-active prenant en compte l'énergie résiduelle des nœuds et supportant le nomadisme
- Un mécanisme d'ordonnancement des activités par coloriage à 3 sauts permettant de réduire les interférences et donc d'optimiser l'énergie des nœuds

2.2.2. Groupe d'étude

2.2.2.1. Pôle NASA

Deux groupes d'étude (dont la NASA fait partie) ressortent tout particulièrement lorsqu'il s'agit de problématique sans fil

WAIC : Wireless Avionics Intra-Communications [WAIC] est un groupe d'étude dont les activités principales sont :

- Etudier la sûreté vis-à-vis des systèmes critiques intra aéronef en contact avec des systèmes sans fil
- Etudier les bandes de fréquence et trouver celles qui seront en adéquation avec les contraintes aérospatiales et les technologies utilisées
- Définir et soumettre la bande de fréquence à l'ITU : autorité de certification.

<https://avsi-tees.tamu.edu/PublicWeb/WAICPublic/waic2.htm>

Les entreprises impliquées dans ce groupe d'étude : Airbus/EADS, BAE Systems, Boeing, Continental Airlines, Embraer, GE Aviation, Goodrich, Honeywell, NASA

Projet actuel : répondre aux cinq questions suivantes (en cours)

- Question 1 : Quel type de systèmes filaire déjà existants et de nouvelles applications seront envisagés afin d'y implémenter le système
- Question 2: Quelle est le niveau de criticité de ces applications
- Question 3: Quelles sont les exigences en critère de protection d'objectif de performances au niveau des caractéristiques techniques, opérationnelles et de la bande passante qui devraient être associés au systèmes WAIC utilisés pour les applications
- Question 4: Quels sont les systèmes WAIC qui pourraient coexister à la même bande de fréquence déjà utilise sans créer d'interférences
- Question 5: Quelles techniques pourraient être utilisé par le système WAIC afin d'assurer la compatibilité avec les autres applications et les services radio

Buts finaux : Trouver la bande de fréquence à utiliser et obtenir une première certification

WAIC est un groupe à suivre car largement impliqué dans la décision de l'attribution des bandes de fréquence par l'ITU [ITU]

Ils ont établi une liste d'applications capteurs que l'on souhaite voir transformées en capteur sans fil que vous trouverait en **annexe 2** classés selon deux critères : intérieur/ extérieur et haut débit/bas débit

Fly by Wireless (caneus)[FBW]: <http://www.caneus.org> CANEUS International est un organisme à but non lucratif qui sert les besoins de l'aéronautique, de l'espace et de la défense, en favorisant le développement international de la Micro et Nano Technologies (MNT) pour des applications aérospatiales. CANEUS est axé sur les aspects pratiques de la transition rapide et efficace MNT des concepts au niveau du système aéronautique. Pour atteindre cet objectif, CANEUS rassemble des développeurs de technologies de l'aérospatial, des utilisateurs finaux, des décideurs gouvernementaux et des investisseurs. CANEUS dirige et coordonne les efforts des entités au Canada, aux États-Unis, en Europe et dans d'autres pays, comme le Japon et le Brésil

[STUDOR] Fly by Wireless a intéressé CANEUS dans le sens où les capteurs utilisés tendent à devenir des MEMS (Microelectromechanical systems) ou mieux encore des capteurs intelligents. Aussi ce groupe d'étude s'échange des informations sur les avancées technologiques concernant ce sujet.

2.2.2.2. Pôles ESA

La conférence WireSens4space 2009 du 1er au 2 octobre 2009 à Santorin a été la source principale de notre information sur les projets menés par l'ESA.

Un programme structurant appelé *Low Power Proximity Network of Sensors* LPPNS, et qui semble faire écho aux programmes de la NASA a pour objet de mettre en réseau des capteurs dans l'espace: le but est aussi de créer un écosystème favorable à l'émergence de solutions industrialisées, fiables et à bas coûts. Dans la même veine, citons le projet *Autonomous Wireless Sun Sensors* AWSS pour suivre les évolutions du soleil. Notons enfin l'étude de communications optiques au sein d'un satellite avec EADS Astrium, qui conclut à l'inadaptation de cette technologie en présence d'obstacles à la propagation. Les programmes menés par la NASA et par l'ESA semblent assez similaires dans les buts poursuivis, avec une émulation certaine.

2.2.2.3. Quelques conférences dédiées à ces sujets

- Conférence WireSens4space, 1-2 octobre 2009, Santorin
- Energy Harvesting for Wireless Automation Conference, 24-25 mars 2010, Munich
- CANEUS Fly-by-Wireless Workshop, 24-27 août 2010, Orono, Me, USA
- World Telecommunication Development Conference juin 2010 Hyderabad, India

2.2.3. Technologies existantes

2.2.3.1. Technologie disponibles sur le marché (détaillé dans l'annexe 1)

Un réseau sans fil est un réseau informatique ou numérisé qui connecte différents systèmes entre eux par ondes radio. Il peut-être associé à un réseau de télécommunications filaires pour réaliser des interconnexions entre nœuds.

Deux organismes gèrent la normalisation des bandes de fréquences attribuées aux réseaux sans fil. L'américain est le centre IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et le centre européen est L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Une fois les normes établies, des commissions distribuent ces fréquences aux utilisateurs selon la taille du réseau créé.

Du côté américain on obtient donc grâce à la FCC (Federal Communications Commission):

- RAN : IEEE 802.22
- WAN : IEEE 802.20 et IEEE 802.16e
- MAN : IEEE 802.16d WiMax
- LAN : IEEE 802.11 Wi-Fi Alliance

Quatre amendements à la norme IEEE 802.11 :

- IEEE 802.11a : spectre de radiofréquences 5 GHz incompatible avec le spectre 2,4 GHz
- IEEE 802.11b : spectre de radiofréquences 2,4 GHz débit de données maximum de 11 Mbits/s
- IEEE 802.11g : spectre de radiofréquences 2.4 GHz débit de données maximum de 56 Mbits/s
- IEEE 802.11n : spectre de radiofréquences 2,4 GHz débit de données maximum de 540 Mbits/s
- IEEE 802.15
- PAN : IEEE UWB, Bluetooth, Wi-Media, BTSIG, MBOA

Du côté européen pour les mêmes types de réseaux la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) organise ses fréquences de cette manière :

- WAN : 3GPP(GPRS/UMTS), 3GPP2(1X--/CDMA), GSM, OMA
- MAN : ETSI HiperMAN & HiperACCESS
- LAN : ETSI-BRAN HiperLAN2
- PAN : ETSI HiperPAN

En France ce sont l'ART et l'ARCEP qui gèrent cette distribution.

Le but est de mettre en place des réseaux robustes et à faible consommation de capteurs ou actionneurs dans des endroits difficiles d'accès, à faible taux de cycle, dans un environnement obstrué et perturbé, pour des applications aéronautiques et spatiales non critiques.

Etant donné la taille du réseau qui nous intéresse (échelle : un avion un lanceur ou un hélicoptère) on envisagera les Wireless Personal Area Network (WPAN) et les Local area network LAN, et particulièrement:

- La norme IEEE 802.15.1
- La norme IEEE 802.15.3
- La norme IEEE 802.15.4
- La famille de norme IEEE 802.11
- Le standard ZigBee
- Le standard BlueTooth
- Le standard ISA100
- Le standard WirelessHart
- La norme 6LowPan
- WiFi Low Power
- WiDom

2.2.3.1.1. La norme IEEE 802.15.1

La norme IEEE 802.15.1 spécifie les couches physiques et MAC pour des connexions sans fil avec des équipements fixes ou mobiles autour de la personne ou d'un objet. Elle vise des solutions peu chères, robustes, efficaces en énergie, supportées par une large gamme d'équipements. Cette norme est basée sur la technologie initialement développée par le groupe BlueTooth Special Interest Group.

2.2.3.1.2. La norme IEEE 802.15.3

La norme IEEE 802.15.3 spécifie les couches MAC et physique pour des réseaux radio sans fil de type WPAN (équipements fixes ou mobiles autour de la personne ou d'un objet) à haut débit (11 à 55 Mbit/s). Elle a été conçue pour le transfert de fichiers audio et vidéo en streaming. Cette norme dispose de capacités accrues en termes de portée, de bande passante et de débit de connexion. Elle est compatible avec les autres normes 802.15 pour réseaux WPAN (réseaux personnels sans fil).

2.2.3.1.3. La norme IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 peut travailler sur trois bandes de fréquences différentes : 868 MHz pour la région Europe, 915 MHz pour l'Amérique du Nord, et 2,4 GHz pour une couverture mondiale. La norme prévoit deux couches physiques différentes (PHY), une pour le 868/915 MHz (PHY868/915) et une seconde pour le 2,4 GHz (PHY2450).

Au total, 27 canaux (numérotés de 0 à 26) sont répartis sur ces trois bandes. Cette diversité en termes d'utilisation du spectre radiofréquence permet à la technologie de répondre aux nombreuses réglementations et d'être utilisable sur toutes les régions du globe mais aussi de s'adapter aux environnements pollués (four à micro-onde, appareils RF, WiFi, Bluetooth...). Actuellement, les premiers produits disponibles utilisent majoritairement la bande 2.4 GHz.

2.2.3.1.4. La famille de norme IEEE 802.11

La famille IEEE 802.11 spécifie un contrôle d'accès au médium et plusieurs couches physiques pour pouvoir connecter en sans fil des équipements fixes, portables ou mobiles dans une zone locale donnée. Elle utilise des techniques de modulation qui utilisent le même protocole de base. Les plus populaires sont les protocoles 802.11b, et 802.11g qui utilisent la bande de fréquence des 2,4GHz. C'est pourquoi les nœuds 802.11 peuvent parfois souffrir des interférences causées par les fours micro-ondes, les téléphones sans fil et les équipements BlueTooth. Alors que BlueTooth utilise le saut de fréquence FHSS, le 802.11b et le 802.11g utilisent respectivement, la signalisation DSSS, direct sequence spread spectrum signaling et la méthode OFDM, orthogonal frequency division multiplexing. Le 802.11a utilise la bande des 5GHz, offrant 19 canaux distincts. La sécurité a été renforcée dans le 802.11i. Le 802.11n propose une nouvelle technique de modulation multi-streaming. Les autres standards de la famille (c-f, h, j) sont des amendements.

2.2.3.1.5. Le standard ZigBee

ZigBee cible les réseaux sans fil utilisés pour la télésurveillance et les applications de contrôle. Il se veut offrir une solution simple, fiable, et de faible coût pour des réseaux à faible débit et faible consommation énergétique. ZigBee est promu par la ZigBee Alliance, une alliance d'industriels. La technologie ZigBee vise une très large gamme d'équipements (i.e. tout équipement usuel susceptible de communiquer en sans fil) ainsi que plus généralement les marchés industriels, commerciaux et gouvernementaux.

ZigBee s'appuie sur le standard IEEE 802.15.4 pour les couches physique et MAC.

2.2.3.1.6. Le standard BlueTooth

BlueTooth est une technologie sans fil standardisée pour échanger des données à courte distance entre équipements fixes ou mobiles dans le cadre des réseaux personnels sans fil (WPAN) avec de hauts niveaux de sécurité. Créée par Ericsson en 1994, elle se voulait une alternative aux câbles RS-232. Le standard BlueTooth est géré par le BlueTooth Special Interest Group.

Afin d'assurer une compatibilité entre tous les périphériques Bluetooth, la majeure partie de la pile de protocoles est définie dans la spécification. Il est à noter que les couches basses sont développées en hardware, tandis que les couches hautes sont développées en software. L'interface HCI fournit une méthode uniforme pour accéder aux couches matérielles. Son rôle de séparation permet un développement indépendant du matériel et du logiciel. HCI permet un transfert de données à débit maximum, soit 720 kbit/s pour la norme 1.2, et un débit trois fois plus élevé pour la norme 2.0+EDR.

2.2.3.1.7. Le standard ISA100

ISA100 est un standard ouvert de technologies réseaux sans fil [ISA100.11a, 2009]. Il concerne les systèmes sans fil pour l'automatisation industrielle, et plus particulièrement le contrôle de process et les applications qui y sont liées.

L'objectif principal d'ISA100 est de fournir un standard unique pour les réseaux sans fil, permettant d'utiliser plusieurs protocoles et plusieurs applications. Le domaine d'ISA100 est le

niveau terrain au travers d'un LAN. Le champ applicatif visé concerne surtout les applications non critiques de surveillance (de type alerte, ou de type monitoring), et dans une moindre mesure les applications de contrôle ou de sûreté. ISA100 est particulièrement adapté aux applications de monitoring périodique, et au contrôle de process lorsque des délais de 100 ms sont tolérables.

De manière générale, ISA100 offre les caractéristiques suivantes : des temps de latence supérieurs à 100 ms, la possibilité pour certains équipements d'avoir une faible consommation énergétique, le passage à l'échelle des équipements, la robustesse et la résistance aux interférences en environnement industriel sévère. ISA100 assure la coexistence avec de nombreux protocoles sans fil tels que WiFi (802.11x), WiMAX (802.16x), Bluetooth, WirelessHART, etc. ISA100 fournit aussi des services de sécurité.

2.2.3.1.8. Le standard WirelessHart

WirelessHart est un standard industriel qui vise à assurer une solution sans fil pour les réseaux de capteurs sans fil utilisés dans des applications ayant de fortes contraintes temporelles. WirelessHart a adopté un mécanisme de sauts de fréquences qui lui permet de résister aux interférences et aux effets des obstacles qui sont deux caractéristiques essentielles d'un environnement industriel.

La pile protocolaire d'un réseau WirelessHart est constituée de 5 couches : une couche physique, une couche MAC, une couche réseau, une couche transport et une couche application. Une entité spécifique appelée Network Manager prend en charge la constitution des tables de routage des nœuds du réseau et le séquençement des échanges TDMA.

Un réseau WirelessHart est constitué essentiellement de 4 éléments : Les entités capteurs ou actionneurs, une entité mobile appelée Handheld responsable de la configuration et du calibrage des autres entités, une passerelle qui connecte les entités du réseau de capteurs aux postes de contrôle et de surveillance, et le Network Manager qui est responsable de la configuration du réseau, de son séquençement et de la gestion des communications entre les différentes entités.

2.2.3.1.9. La norme 6LowPan

Jusqu'à peu, l'utilisation du protocole IP sur des réseaux sans fil embarqué était considérée comme non viable. En effet, il était très difficile d'adapter le protocole IP pour opérer sur des microcontrôleurs et sur des liaisons à basse consommation d'énergie.

L'émergence du standard 6LoWPAN de l'IETF pour des communications IP sur des liaisons radio à faible puissance a changé la donne.

2.2.3.1.10. WiFi Low Power

WiFi désigne aujourd'hui une solution « Réseau Local Sans Fil » (WLAN) qui a évolué selon différentes versions depuis une vingtaine d'années. Si l'on retient le débit, la portée et la consommation comme paramètres essentiels pour parler des différentes étapes de cette évolution, nous pouvons constater certaines tendances, celles qui nous intéressent le plus ici sont relatives à la consommation.

A l'origine, cette gamme de solutions réseau est née de la norme IEEE 802.11 qui a évolué par amendements ou a été remplacée par de nouvelles versions comme 802.11a, 802.11b, 802.11n... WiFi représente à l'origine une certification d'interopérabilité, avec le temps ce mot désigne plus globalement ce type de réseaux.

2.2.3.1.11. WiDom

Dans les réseaux filaires, les messages peuvent être organisés efficacement en utilisant le bus CAN. Le CAN possède une couche MAC qui permet des transmissions sans collisions et permet d'implémenter une priorité pour l'émission des messages. Ainsi, il est possible, connaissant les caractéristiques du message (période, temps de transmission, gigue...etc.), de calculer le délai maximum d'un message, en l'absence de perte.

Ce protocole de niveau MAC appartient à une famille de protocole appelé protocole à bit dominant. L'émission d'une trame commence par l'émission de son identifiant d'objet. Les collisions sont résolues par un principe de « bit dominant » : si une station émet un '1' pendant qu'une autre émet un '0', c'est le '0' qui est transmis sur le support. La station qui a émis le 1 voit qu'elle n'est pas seule, qu'elle n'est pas la plus prioritaire et cesse d'émettre.

2.2.3.2. *Tri des technologies en adéquation avec les applications*

Nous distinguerons tout d'abord les normes qui spécifient les couches physiques et MAC des réseaux sans fil.

Nous étudierons dans un premier temps les normes spécifiquement conçues pour les réseaux personnels sans fil (WPAN) tels que:

- IEEE 802.15.1
- IEEE 802.15.3
- IEEE 802.15.4.

Nous généraliserons ensuite aux normes pour les réseaux locaux sans fil tels que IEEE 802.11, sans pour autant négliger l'aspect basse consommation en étudiant plus particulièrement WiFi Low Power.

Il existe également des solutions technologiques standardisées promues par des alliances d'industriels. Ces solutions reprennent généralement des standards au niveau des couches basses et proposent leur propre développement au niveau applicatif. La couche réseau est soit standard (ex. IP), soit spécifique.

BlueTooth, soutenu par BlueTooth Special Interest Group, s'appuie sur IEEE 802.15.1 et fournit différents profils applicatifs. Une solution à basse énergie a vu le jour en juillet 2010.

ZigBee, promu par la ZigBee Alliance, s'appuie sur IEEE 802.15.4 et fournit différents profils applicatifs.

ISA 100.a, promu par le comité de standardisation International Society of Automation, s'appuie sur la couche physique du 802.15.4 et utilise IP au niveau réseau. Le marché visé est celui des automates industriels.

Wireless Hart, reconnu comme standard CENELEC, (European Committee for Electrotechnical Standardization), s'appuie lui aussi sur la couche physique du 802.15.4.

Cet état de l'art fait apparaître une tendance forte concernant les réseaux de capteurs sans fil : la couche physique de la norme IEEE 802.15.4 fait référence puisqu'elle est retenue non seulement pour ZigBee mais aussi pour WirelessHart (et dans OCARI notamment). La norme IEEE 802.15.4 offre des services des couches basses (couche 1 et couche 2) du modèle OSI des réseaux avec une taille du logiciel correspondant facilement acceptée par les processeurs associés aux capteurs ou actionneurs. Elle propose des facilités pour économiser l'énergie et ses évolutions annoncées ont été pensées pour offrir une meilleure immunité aux interférences. Ces caractéristiques sont pertinentes car notre but est de mettre en place des réseaux robustes et à faible consommation de capteurs ou actionneurs dans des endroits difficiles d'accès, à faible taux de cycle, dans un environnement obstrué et perturbé, pour des applications aéronautiques et spatiales non critiques.

La norme IEEE 802.15.4 laisse libres les couches supérieures à vocation réseau et application. De là en découlent plusieurs stratégies :

- -1. Voir si la solution ZigBee développée pour des applications assez hétérogènes est bien en adéquation avec les contraintes spécifiques que nous nous sommes imposé.
- -2. Etudier les performances et la pérennité de WirelessHart, solution développée pour des applications plus ciblées contrôle/commande mais qui souffre actuellement de sa rigidité.
- -3. Probablement réfuter la solution ISA100 qui pour l'instant est largement en retrait par rapport aux deux solutions précédemment citées.
- -4. Tenir compte des aménagements annoncés pour retenir ou proposer des aménagements spécifiques pour les couches hautes de la solution (notamment réseau routage économe en énergie).

L'alternative WiFi doit être considérée mais la vocation première de cette solution n'étant ni les réseaux de capteurs ni une économie d'énergie particulièrement optimisée, ce choix est un challenge d'un autre niveau. Notons que Wi-Fi, dans la même bande, va être de plus en plus déployé en cabine des avions pour l'*infotainment* des voyageurs, ce qui peut représenter une source de perturbations supplémentaires qui va à l'encontre de la réactivité de la solution étudiée.

La technologie UWB marque le pas en raison de la complexité de la réalisation des modules de réception. Ceci est confirmé par la désaffection (passagère ?) de fabricants de circuits.

Les applications de ZigBee aux domaines aéronautique et spatial sont essentiellement favorisées par la NASA (avec l'organisation CANEUS) et de l'ESA, qui ont la capacité de financer des programmes à moyen terme, de créer un marché suffisant et de standardiser des modules complets. Les réseaux sans fil ont effectivement plus d'une application dans ces domaines aéronautiques et spatiaux : moindre masse, absence de câblage, possibilité d'insérer des capteurs dans des endroits difficilement accessibles (ISS), surveillance de zones spatiales étendues...

2.2.4. Conclusion partielle sur l'état de l'art

2.2.4.1. Résumé des déductions faites par rapport au retour d'expérience

Retour d'expérience sur les projets aéronautiques liés à l'intégration de réseau de capteur sans fils

WISE	Faire attention à l'architecture de l'aéronef Faire attention à l'avionique
SACER	Envisager l'UWB technologie la moins gourmande en énergie
SWANS	ZigBee peu énergivore Zigbee est intéressant pour la portée
SWAN	Modification de la couche MAC possible pour moduler la consommation énergétique
AUTOSENS	Projet complémentaire gérant l'aspect alimentation Des tests ont été réalisés sur des super capacités afin de compléter l'énergie vibratoire récoltée qui pour le moment n'est pas suffisante
ASTRAL	2.4 est un choix pertinent pour la bande de fréquence utilisée pour l'émission

Retour d'expérience sur les projets non aéronautiques liés à l'intégration de réseaux de capteurs sans fils

GTB et domotique	WATTECO a donc choisi la norme IPV6 car elle permet un déploiement à grande échelle grâce à son espace d'adresse étendu
Télé Santé	La technologie RFID est bien adaptée à des applications dont l'activité n'est pas nécessaire en permanence
Suivi des infrastructures et de l'environnement	Pour des applications nécessitant des portées importantes on préférera toujours des fréquences 2.4 type ZigBee ou 802.11
OCARI	OCARI se distingue des piles protocolaires comme <u>ZigBee</u> , WirelessHART et ISA100.11a.

Retour d'expérience sur les groupes d'étude s'étant penchés sur les problématiques liées à l'intégration de réseaux de capteurs sans fils

WAIC	Buts finaux : Trouver la bande de fréquence à utiliser et obtenir une première certification WAIC est un groupe à suivre car largement impliqué dans la décision de l'attribution des bandes de fréquence par l'ITU [ITU]
Fly by Wireless (caneus)	les capteurs utilisés tendent à devenir des MEMS (Microelectromechanical systems) ou mieux encore des capteurs intelligents.
Low Power Proximity Network of Sensors LPPNS	l'émergence de solutions industrialisées, fiables et à bas coûts

2.2.4.2. Résumé des informations récoltées grâce à l'étude des technologies existantes et présentation des technologies sélectionnées

Parmi les technologies pertinentes, nous avons identifié les technologies potentielles suivantes, en indiquant pour chacune d'elles les points forts, les points faibles et les points à améliorer.

2.2.4.2.1. Technologies standardisées

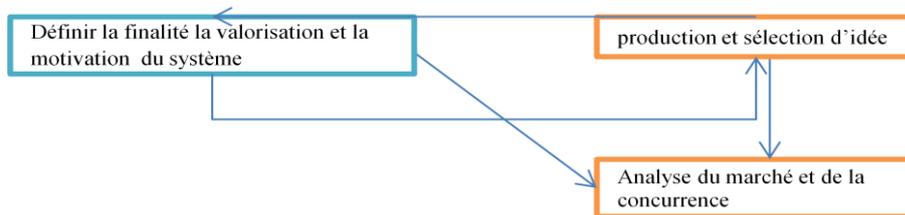
Technologie	Norme pour couches physique et MAC	Norme pour couche réseau	Norme pour couche application	+ Points forts - Points faibles ! Points à améliorer
Bluetooth	IEEE 802.15.1	IP possible	Profil Bluetooth	+ Technologie largement répandue - Consommation importante d'énergie - Nombre de nœuds limités (7 esclaves +1 maître) ! Profil applicatif standardisé à adapter ! Interconnecter les piconets
	IEEE 802.15.3			! Actuellement utilisé pour interconnexion de 2 équipements Wireless USB - UWB : peu de chip disponible
ZigBee	IEEE 802.15.4	IP/6LowPAN possible	Profil ZigBee	+ Technologie répandue ! Améliorer l'accès déterministe au médium, ! Améliorer l'efficacité énergétique et routage
	IEEE 802.15.4a	variante UWB		- Pas d'implémentation commerciale
WiFi	IEEE 802.11a, b, g	IP IP/6LowPAN possible		+ Technologie très utilisée dans réseaux MANET - Forte consommation énergétique, ! Protection contre intrusions
ISA100		IP		- Pas très répandu
Wireless Hart				+ Prévu pour résister aux interférences - Solution statique ! Attendre la convergence avec ZigBee

2.2.4.2.2. Technologie en cours de développement

Technologie	Norme pour couches physique et MAC	Norme pour couche réseau	Norme pour couche application	+ Points forts - Points faibles ! Points à améliorer
WiDom				- Ne s'appuie pas sur un standard - Pas d'implémentation commerciale - Problèmes potentiels avec nœuds cachés, ! Consommation énergétique
WiFi Low Power	IEEE 802.11b	IP possible	Se doit d'être optimisé	+ Bénéficie de l'assise de WiFi - Propose une version dégradée du 802.11b pour réseaux de capteurs ! Chiffres de consommation énergétique à consolider

2.3. Analyse de marché

Il convient de faire une analyse du marché et une étude de la concurrence non seulement basée sur l'idée produite et sélectionnée mais aussi orientée par la motivation du système qui en découlera. Il faut noter qu'en fonction de la motivation un système ne sera pas conçu de la même façon.



La matrice conçue par Igor Ansoff classe et explique les différentes stratégies de croissance d'une entreprise. Cette matrice est employée pour un objectif de croissance ou une stratégie de spécialisation. Cet outil, nous a permis de situer SAHARA. Le cadre de ce mémoire n'est pas le lancement d'un produit industriel mais un projet de recherche. Cependant le but final sera la commercialisation et l'implémentation de notre système. A ce titre, et afin de convaincre nos financeurs d'investir dans ce projet, il est utile de visualiser le marché potentiel.

Matrices d'Ansoff

		Produit	
		Existant	Nouveau
Marché	Existant	Pénétration du marché	Nouveau produit
	Nouveau	Extension du marché	Diversification

La matrice Ansoff offre 4 choix stratégiques pour atteindre des objectifs de croissance :

Pénétration de marché : L'entreprise essaie de développer ses ventes sur son marché. Les produits existants sont donc vendus aux clients existants. Le produit ne subit aucune modification mais l'entreprise cherche à augmenter ses recettes par des moyens de promotion ou de repositionnement de ses produits. Il faut ici convaincre les clients potentiels et les détourner de produits concurrents.

Extension du marché : L'entreprise essaie d'augmenter ses ventes par l'introduction de ses produits sur de nouveaux marchés. On a donc une gamme de produits existante sur de nouveaux marchés. De nouveau le produit ne subit aucune modification il sera juste vendu à une nouvelle cible (p.ex. par le biais de l'exportation). En fonction des différences culturelles, les produits peuvent subir de légères modifications.

Nouveaux produits : L'entreprise augmente ses ventes en lançant de nouveaux produits (ou des produits modifiés) sur le marché existant. Il y aura plusieurs versions des produits (différents modèles, tailles,...). Les nouveaux produits sont alors vendus à la clientèle existante par le moyen des canaux de distribution existants.

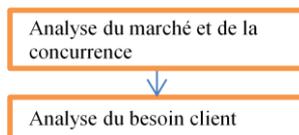
Diversification : Dans ce cas l'entreprise lancera de nouveaux produits et les vendra à une nouvelle clientèle.

Dans notre cas, le produit existe puisque des capteurs filaires sont déjà embarqués à bord d'aéronef et que des modules de communication sans fil sont utilisés tous les jours pour des applications domestiques (hors aérospatial). Cependant, la combinaison de ces deux produits : un capteur communiquant sans fil à bord d'un aéronef n'existe pas. On peut donc voir cette innovation non pas comme une innovation de rupture mais plutôt comme une optimisation donnant naissance à un nouveau produit. Quand au marché, il peut être considéré comme nouveau (club utilisateur comprenant des industriels automobile et aéronautique) même si ce projet répond à un besoin existant dans le domaine aérospatial et que le marché dans ce domaine existera et complétera l'offre du filaire.

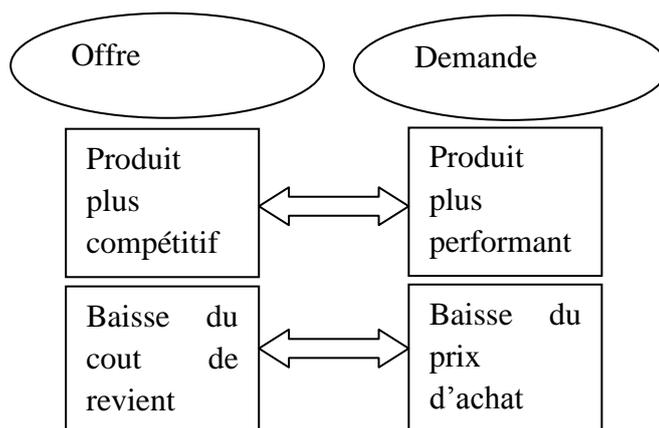
La stratégie à adopter est à cheval sur « nouveau produit » et « diversification ».

2.4. L'analyse d'un besoin

En fonction du marché concurrentiel (s'il existe) on aura (ou non) quelques indices quand à la réaction de la clientèle face au produit et on pourra ainsi mieux définir son besoin. Sinon, on ira sonder celui-ci en prenant soin de bien couvrir le panel de client potentiel.



Besoin générique : Le client souhaite acheter un produit toujours plus performant et toujours moins cher et le vendeur souhaite voir croître son chiffre d'affaire en étant toujours plus compétitif et augmenter ses marges en réduisant ses coûts de revient.



Dans notre cas, nos résultats ne seront pas simples et linéaire mais plutôt matriciels. On aura trois clients potentiels qui nous feront envisager non pas un seul produit mais plutôt une gamme de produit modulaire avec tant que faire se peut : des modules communs répondant à des besoins communs et des modules spécifiques répondant à des besoins spécifiques.

2.4.1. Les besoins avion :

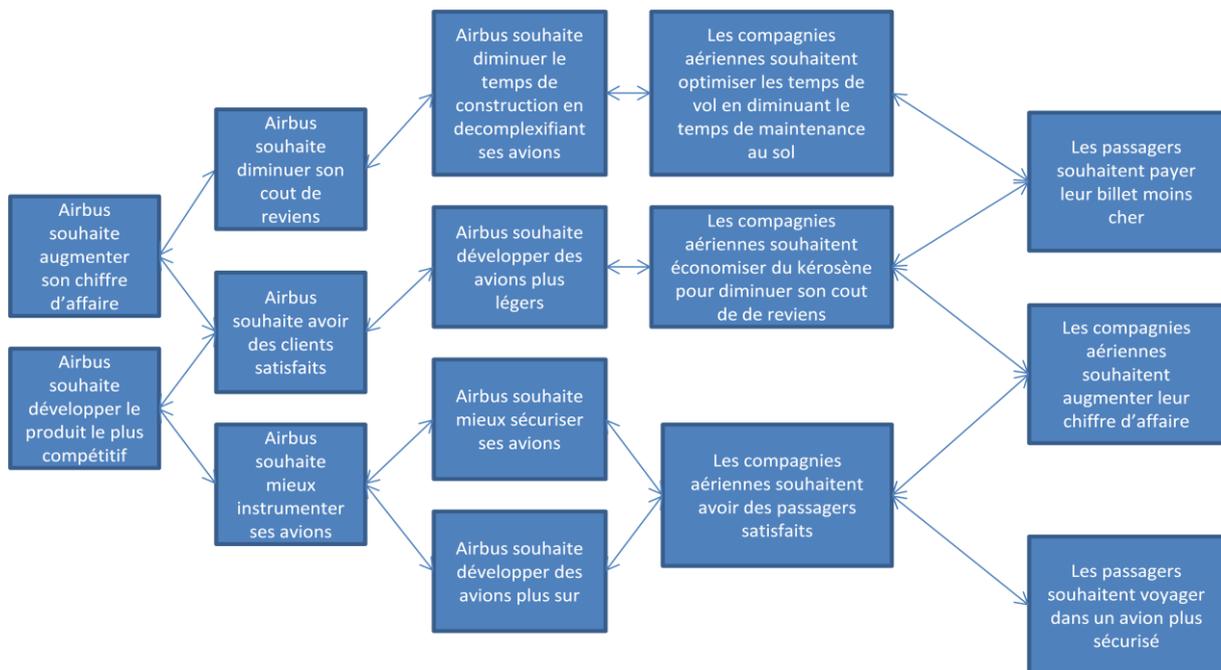
Une préoccupation importante des constructeurs d'avion est de pouvoir vendre un avion plus léger afin d'en réduire la consommation de kérosène. Ceci satisfera de fait les compagnies aériennes qui pourront soit faire profiter de la baisse de leur coût de revient du voyage par kilo embarqué à leurs passagers en baissant le prix du billet soit augmenter leurs bénéfices.

Les constructeurs d'avion souhaitent augmenter leurs chiffre d'affaire en diminuant leurs coûts de revient et pour ce faire réduire le temps de construction en simplifiant leurs produits. Cette simplification de produit induira une simplification de la maintenance pour les compagnies aérienne et donc une réduction du temps passé au sol et une optimisation de l'utilisation des appareils

Les constructeurs d'avion souhaitent produire des appareils plus compétitifs et donc les instrumenter au mieux. Cette instrumentation permettant une amélioration de la sécurité et de la sureté de fonctionnement augmentant ainsi la confiance et la satisfaction des compagnies aériennes et des passagers par ricochet. Multiplier les capteurs pour mieux connaitre l'environnement et faire de la mesure en vol est un avantage compétitif considérable.

En résumé :

- Performance et compétitivité (Faire de la mesure en vol et au sol) : évolutivité
- Cout (allègement de l'avion) : réduction du poids
- Simplification du réseau (réduction du temps d'installation) : réduction de la complexité
- Instrumenter des zones difficilement instrumentables : augmentation de la flexibilité
- Apporter un plus sécurité en ajoutant une redondance sans fil (redondance sans fil peu couteuse en poids) : réduction du poids
- Ajouter du contrôle de santé: possible grâce à la réduction du poids et a la flexibilité



Hiérarchie des besoins avions

2.4.2. Les besoins hélicoptère :

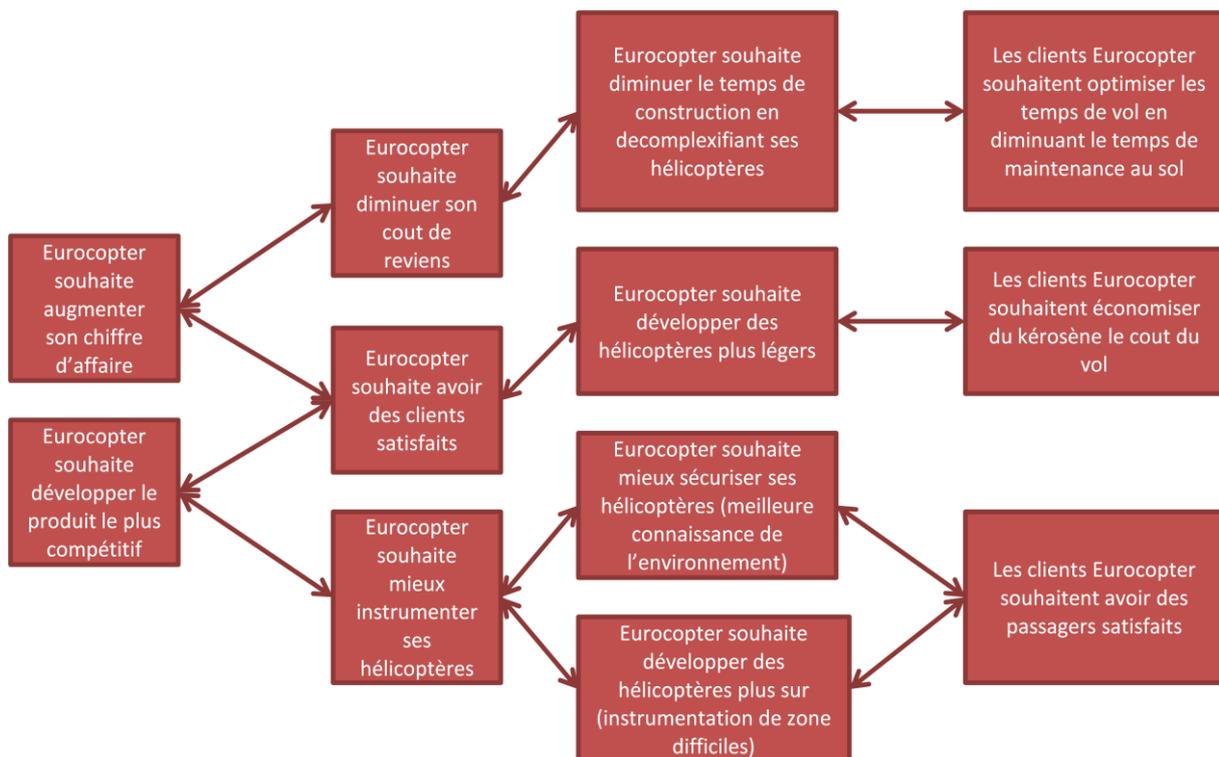
Dans une moindre mesure les constructeurs d'hélicoptère souhaitent alléger leurs appareils. En effet, même si le câblage dans un hélicoptère est moins important que dans un avion, tout allègement est bon à prendre.

En ce qui concerne la connaissance de l'environnement, la navigation est toujours facilitée avec des mesures en vol multipliées.

Quand à la simplification de la construction et la réduction du temps de maintenance du a la simplification du réseau et au contrôle de santé de l'aéronef permis par de nouveau capteur, elle permettrait à Eurocopter d'être plus compétitif

Mais dans le cas présenté, un besoin pressant pour les constructeurs d'hélicoptère réside dans l'instrumentation des zones en mouvement, en effet le givre sur les pales est un véritable problème mais poser des capteurs sur les pales d'un hélicoptère était jusqu'alors inenvisageable.

- Performance et compétitivité (Faire de la mesure en vol et au sol) : évolutivité
- Instrumenter des zones en mouvement : augmentation de la flexibilité
- Cout (allègement de l'hélicoptère) : réduction du poids (secondaire)
- Simplification du réseau (réduction du temps d'installation) : réduction de la complexité (secondaire et moins complexe que l'avion)



Hiérarchie des besoins hélicoptères

(On ne développe pas l'aspect passager autant que pour les besoins avion car les trajets sont plus courts, les passagers moins nombreux et le confort n'est pas la priorité)

2.4.3. Lanceur:

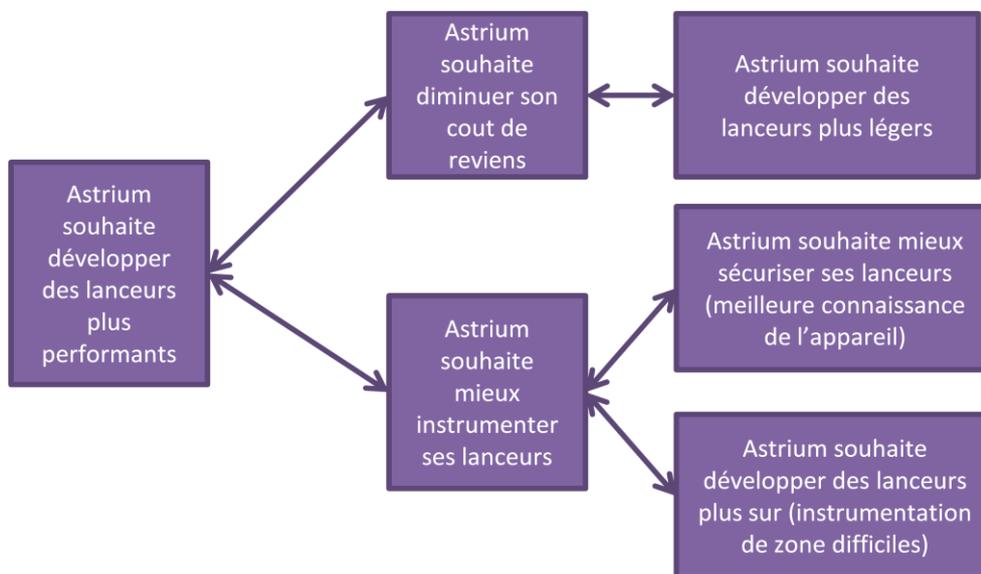
Le besoin lanceur se différencie en plusieurs points.

Les mesures souhaitées doivent être réalisées au sol et non pas au sol et en vol comme dans nos deux autres cas. Aussi, l'aspect sécurité est moins important.

En ce qui concerne l'allègement, certains réseaux de capteur, même s'ils ne serviront plus une fois le lanceur en vol, ne seront pas retirés de l'appareil (surtout ceux qui auront été posés dans des zones difficilement instrumentables) donc l'allègement est (même si pas primordial) un point parfois important (1kg envoyé coûte 10 000euro)

Le plus important pour les constructeurs est de pouvoir réaliser des séries de mesures partout dans le lanceur. Ceci entraînera les mêmes problématiques de compatibilité électromagnétique que dans un avion ou un hélicoptère, et posera le problème de la consommation énergétique qui est un problème à part entière et qui volontairement ne sera pas traité

- Performance (Faire de la mesure au sol) : évolutivité et malléabilité
- Ajouter du contrôle de santé : flexibilité
- Coût : la réduction du poids pour les mesures au sol est secondaire (sauf pour les réseaux non retirés au lancement)



Hiérarchie des besoins lanceurs

2.4.4. Conclusion sur les besoins :

Certaines commonalités entre ces besoins apparaissent, on pourrait alors envisager de créer une famille de système modulaire avec des modules commun pour satisfaire les besoins commun et des modules spécifiques pour satisfaire les besoins spécifiques. Cependant, on peut d'ores et déjà dire que les besoins lanceur se démarquent un peu des autres besoins (pourront-ils vraiment être satisfait la famille de système ?) et que les besoins les plus difficiles en apparence à satisfaire sont les besoins avion.

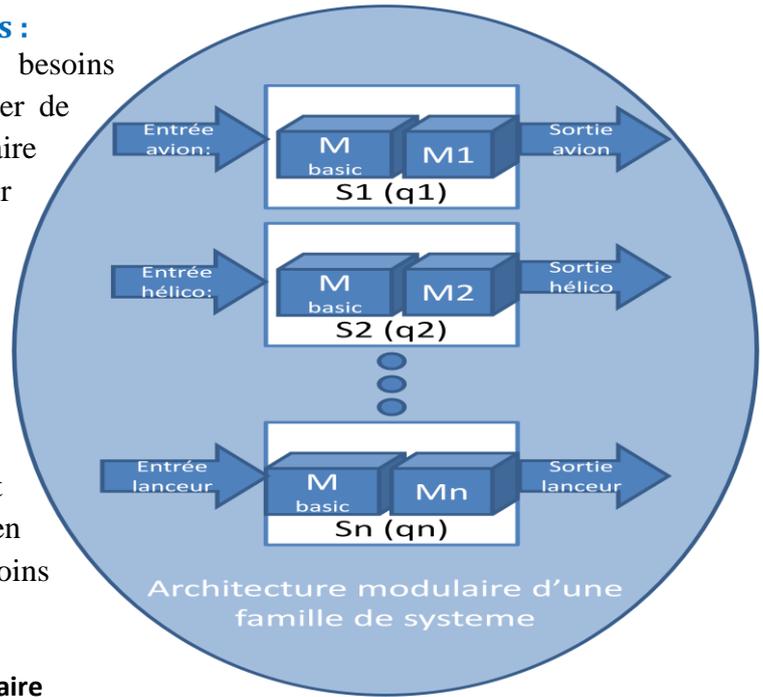
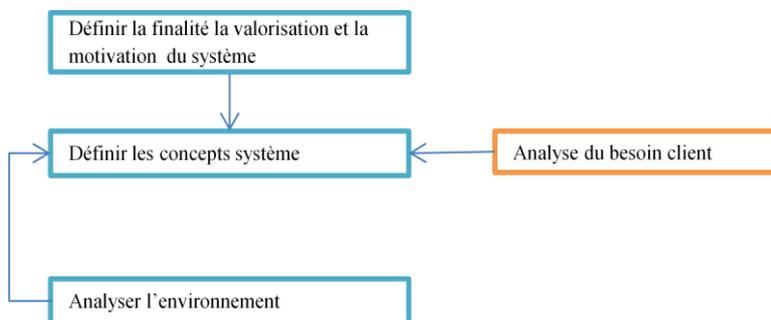


Figure 1 : architecture modulaire

2.5. La définition d'un concept système :

Définition du concept système : un système est un ensemble composite de matériels et de logiciels organisés pour que leur interfonctionnement permette dans un environnement donné de remplir les missions pour lesquelles il a été conçu. [Meinadier01]

Un système est caractérisé par une fonction de transfert F modélisant son comportement en fonction du temps. Le système reçoit donc à un instant t une fonction $X(t)$ et produit une fonction $Y(t)$ dépendant de la valeur de $Q(t)$ état interne du système, régit par un ensemble de lois pouvant évoluer au cours du temps. Pour définir la fonction interne du système on aura besoin de connaître l'orientation des motivations qui nous ont amené à créer ce système mais aussi les besoins de nos clients et pour connaître les entrées et les sorties on fera une analyse de l'environnement de notre système (voir 2.7).



Notre système, comme le projet sur lequel cette thèse est basée, s'appellera SAHARA (Solution pour l'ArcHitecture et les Application des Réseaux sans fils dans les Aéronefs). Sa fonction sera de transmettre et de traiter les données émises par tout type de capteurs.

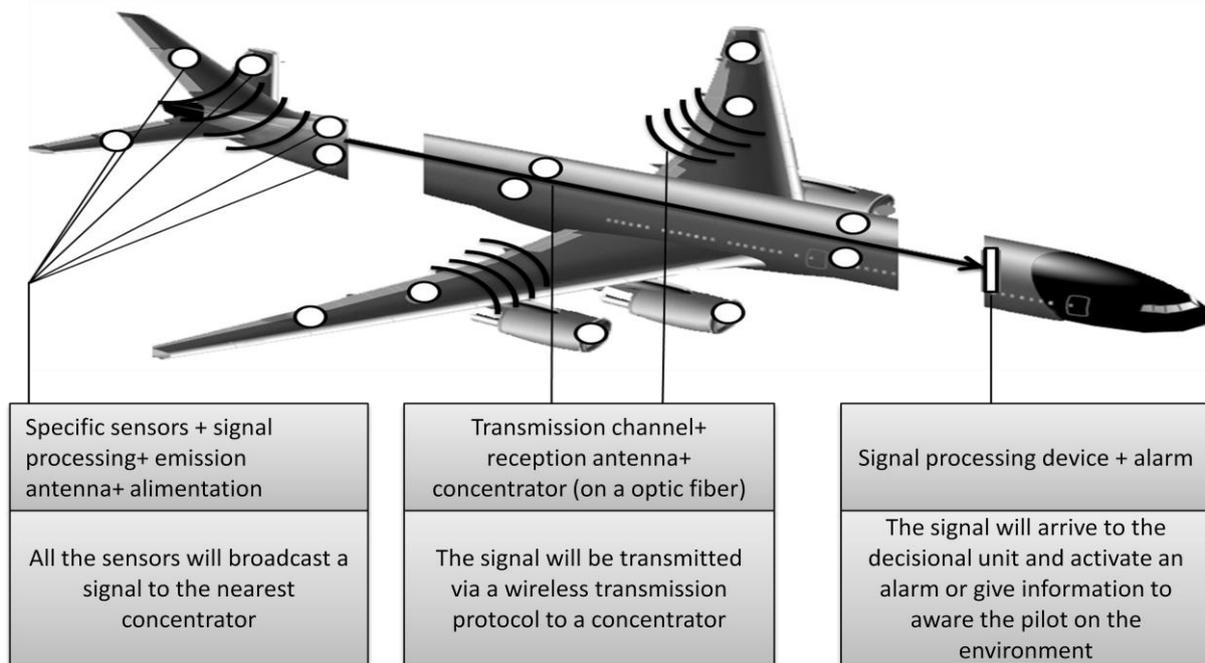


Figure 2 : concept système : vue d'ensemble

Rappelons que la fonction interne F du système modélise son comportement en fonction du temps et dépend de son état interne. En d'autre terme elle modélise la transformation que fait subir le système à l'entrée X et dont le résultat sera la sortie Y

On peut discerner trois types de transformations.

Les transformations dans le temps, dans la forme, et dans l'espace. On obtient alors si on croise ces trois transformations avec les trois flux la matrice MEI TEF [Meinadier]

	Flux physique		Flux informationnel
	Matière	Energie	Information
Temps	stockage	accumulation	mémorisation
Espace	transport	transport	communication
Formes	transformation	transformation	traitement

En termes de transformation, le système SAHARA, transforme une information. On peut en déduire que notre système combinera une fonction de communication avec une fonction de traitement et optionnellement selon l'application envisagée, une fonction mémorisation.

Entrée/ Sortie : On peut considérer pour plus de facilité les entrées comme des flux. Les flux entrants et les sortants d'un système qui rappellent le, sont souvent respectivement des flux sortants et entrants de systèmes environnants peuvent être de trois types : matières, énergies et informations pour plus de facilité on considèrera la matière et l'énergie comme des flux physiques qui ont des propriétés strictes de conservation lors des transformations, contrairement aux flux informationnels qui peuvent être diffusée mais conservée (non-consommabilité) [Meinadier]

Fonction interne : On peut définir quatre types de système en fonction des flux qui sont à traiter

		Flux sortant	
		Physique	Informationnel
Flux entrant	Physique	Système de transformation physique	Système d'observation capteur
	Informationnel	Système d'action effecteur, actionneur	Système de traitement d'information

Voici précisément comment se positionne le système SAHARA dans la chaîne de système.

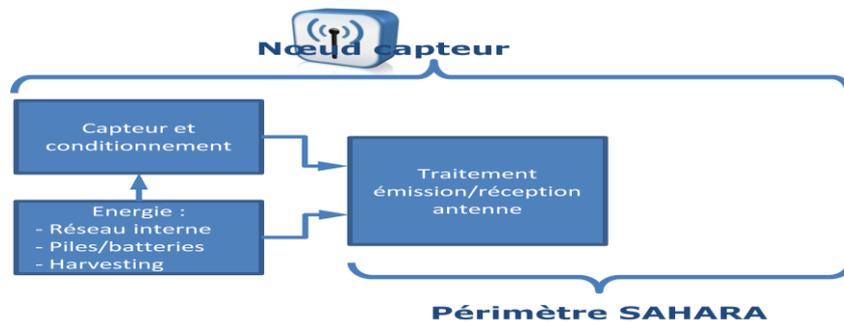


Figure 3: concept système, entrée du système

Il aura pour sortie des informations traitées et acheminées jusqu'au bus avionique le plus proche (le bus avionique étant l'interface la mieux adaptée pour se raccorder au réseau déjà existant)

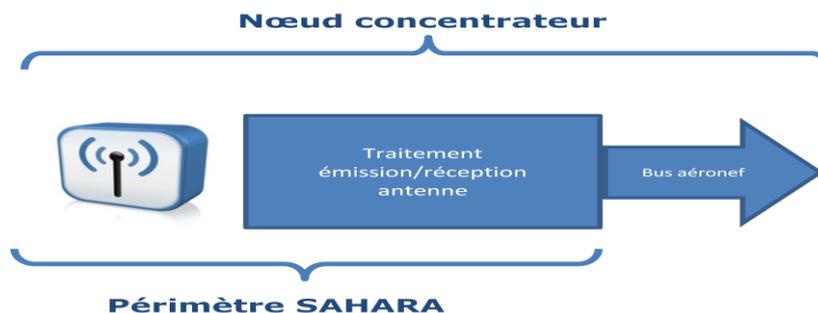
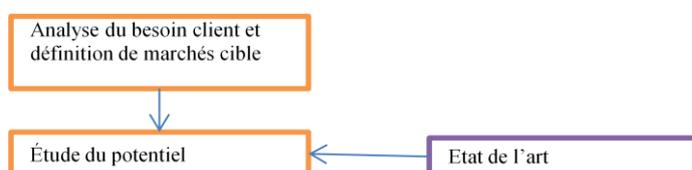


Figure 4 : concept système, sortie du système

Un capteur aura pour flux entrant des phénomènes physiques et pour sortie un ensemble de données (donc un flux informationnel). On constate en effet que le système qui se trouve en entrée de SAHARA est un système d'observation (capteur). En sortie de SAHARA, on obtient des informations sur l'environnement, donc aussi un flux informationnel, prêt à être acheminée par le bus de transfert de donnée le plus proche. Notons que le bus de données est un bus informatique dédié au transfert des données au sein de l'aéronef. Comme on pouvait le prévoir avec le tableau ci-dessus, SAHARA est bien un système de traitement d'information.

2.6. Etude du potentiel

A l'aide de l'analyse des besoins client, on ciblera le public visé et avec l'état de l'art on aura déjà une idée de l'effort d'innovation à réaliser. En fonction de ces deux éléments on fera une étude du potentiel du système. On définira le marché à couvrir et on pourra mettre un premier jalon go no go



On chiffrera le nombre de clients que l'on classera par catégories. On sélectionnera un certain nombre de brique technologique et on quantifiera l'effort d'innovation. On déterminera ce que l'on peut faire avec ce que l'on a et si cela vaut la peine.

2.6.1. Marché aéronautique et spatial et retombées à cinq ans

A l'horizon de cinq ans, les capteurs sans fils pourront prendre place à l'intérieur des avions, des hélicoptères et des lanceurs et seront en mesure d'attaquer le marché mondial.

La production annuelle mondiale et le nombre total de capteurs par type d'aéronef sont résumés ci-après :

	Production ou lancement annuelle (environ)	Nombre de capteurs par aéronef (environ)
Avions de ligne	1000 (Airbus : 500)	2000
Avions d'affaires	1000 (Dassault : 80)	1500
Hélicoptères	1000 (Eurocopter : 500)	1500
Lanceurs	Ariane 5 : 7 et Soyuz : 1 (en 2010 mais en constante évolution)	500

En prenant l'hypothèse du remplacement de seulement 10 % des capteurs embarqués par des versions sans fil, on aboutit à un besoin de plus de 500 000 capteurs sans fil par an. En comptant un prix d'une centaine d'euros par capteur, cela fait un chiffre d'affaires de 500 M€ par an.

2.6.2. Autres marchés

L'utilisation de réseaux de capteurs sans fil intéresse au plus haut point les secteurs de l'automobile, du ferroviaire, de la défense et de l'industrie en général. Le secteur automobile à lui seul, avec plus de 60 000 000 de véhicules vendus chaque année de par le monde, est à même de générer un besoin de plus d'un milliard de capteurs sans fil par an. Avec un prix d'environ 20 € par électronique associée, ceci représente un chiffre d'affaires de 20 milliards d'euros par an.

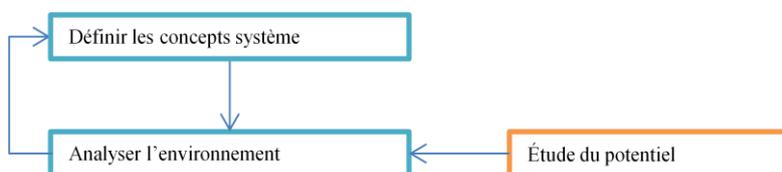
2.6.3. Club utilisateurs

Pour préparer la diffusion du produit SAHARA à d'autres domaines que l'aéronautique et l'espace, le projet SAHARA sur lequel est basé cette thèse a fait entrer dans un « club utilisateurs » des entreprises (hors aéronautique) intéressées par nos résultats.

Notre club utilisateurs regroupe d'ores et déjà Dassault Aviation, Renault et Michelin. Thales Alenia Space, PSA et Zodiac.

2.7. Analyse de l'environnement

L'analyse de l'environnement est une étape très importante. Il est nécessaire de la faire débiter le plus tôt possible, dès que les fonctions internes du concept système sont établies (voir analyse MEI TEF dans la définition du concept SAHARA en 2.5). L'environnement du système est composé de l'ensemble des systèmes en entrée ou en sortie de notre système cible. On trouve des catégories récurrentes de système environnant dont les systèmes « client » défini dans l'étude du potentiel font partis



On établira ici une cartographie des systèmes environnants

2.7.1. Systèmes environnants définition :

On appellera élément environnant (se) de notre système cible (sc) (le produit à concevoir) tous systèmes interagissant avec ce système cible. [Meinadier01]

La sortie d'un système environnant au sens large peut être une entrée du système cible et une sortie du système cible peut être l'entrée d'un système environnant.

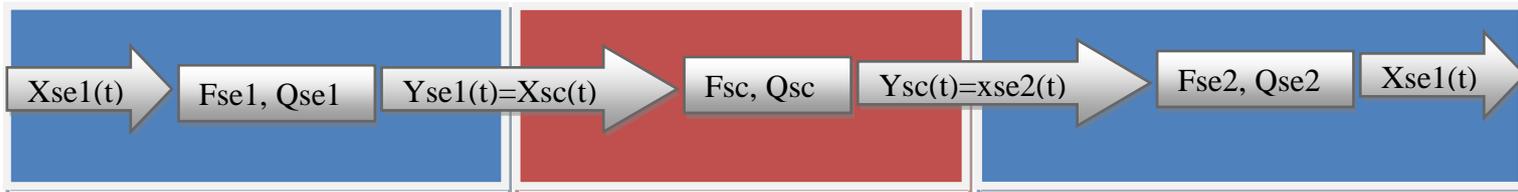
Si l'on reprend l'équation du système cible : [Aiguier]

$$\begin{aligned}
 Y_{sc}(t) &= F_{sc}(X_{sc}(t); Q_{sc}(t); t) \text{ ou,} \\
 Q_{sc}(t) &= \Delta(Q_{sc}(t); X_{sc}(t); t) \\
 Y_{se}(t) &= F_{se}(X_{se}(t); Q_{se}(t); t) \\
 Q_{se}(t) &= \Delta(Q_{se}(t); X_{se}(t); t)
 \end{aligned}$$

On aurait $Y_{sc}(t) = X_{se}(t)$

X(t)	Entrée à l'instant t
Y(t)	Sortie à l'instant t
Q(t)	Etat interne à l'instant t
F(t)	Fonction de transfert

Et $Y_{se}(t) = X_{sc}(t)$



Le problème souvent rencontré lorsqu'on essaie de faire l'inventaire des systèmes environnants le système cible, on se rend compte qu'indirectement le monde entier environne le système cible. La difficulté de cet exercice réside donc dans la définition du degré de proximité que l'on considérera pertinent. On peut cependant d'ores et déjà, pour faciliter cette tâche, se référer à certaines catégories de système environnant à considérer de façon assez récurrente lors du processus d'innovation [PESTEL]:

- Le système politique : il englobe l'ensemble des systèmes politiques qui pourraient influencer sur le système cible. On aura donc plusieurs niveaux concentrique de système politique, allant de la politique de l'entreprise, en passant par la politique régionale, la politique étatique, la politique des autres pays ou le système cible pourrait être exporté, jusqu'à la politique mondiale.
- Le système économique : conditionné par le marché existant et le marché potentiel
- Le système sociétal : l'entreprise, sa culture, sa gestion du changement.
- Le système technologique : l'ensemble des technologies disponibles, matures et qui pourraient être implémentées sur le système cible.
- Le système environnemental : l'ensemble des éléments physiques environnant le système (les autres systèmes embarqués avec le système cible, les conditions climatiques dans lequel le système cible évolue)
- Le système législatif et réglementaire : l'ensemble des normes que le système cible doit respecter.

2.7.2. Acteurs types

Une fois l'environnement défini il est primordial d'identifier les principaux acteurs. Pour ne pas en oublier, Il est apparu pertinent de croiser les systèmes environnants avec chaque étape de la vie d'un produit afin de souligner tous les acteurs susceptibles d'intervenir sur SAHARA. Voici donc une matrice croisée entre les systèmes environnants génériques de l'analyse PESTEL et le cycle de vie générique d'un système décrit dans le chapitre 2 systems engineering processes and life cycles de « systems engineering » d'Andrew Sage [Sage03].

	Conceptualisation	Développement	Utilisation	Retrait de service
Le système politique	Direction du service recherche et développement	Responsable de la conduite du changement	Système de Maintenance	Responsable en charge du plan de retrait
Le système économique	Direction financière	Direction marketing	Client	Direction financière (cout du retrait et du recyclage)
Le système sociétal	Ingénieur de conception	Producteur et industriel	Operateur Utilisateur final (pilote et équipes de maintenance)	Ingénieur de conception (remplacement du produit par un autre plus innovant)
Le système technologique	Technologie utile existante	Technologie aboutie	Technologie mature et robuste	Technologie compatible avec les technologies futures
Le système environnemental	L'environnement physique en contact direct avec le système (avionique et structure de l'aéronef)	L'environnement physique en contact direct avec le système (avionique et structure de l'aéronef)	Respect de l'environnement (limitation de la pollution)	Ecologie, recyclage
Le système législatif et réglementaire	Norme de conception	Norme de production	Norme d'utilisation	Norme de retrait

Matrice croisée entre systèmes environnants et étapes de vie du système : acteurs intervenant sur le système au cours du temps

Maintenant qu'on a spécifié les grands ensembles impactant le système. Il sera utile d'être plus restrictifs car pour définir les exigences, on gardera en mémoire tous les acteurs mais on n'interrogera que les parties prenantes donneuses d'ordre. Rappelons que nous nous trouvons dans le cadre d'un projet de recherche et que tous les acteurs cités ci-dessus ne sont pas forcément pertinent vu le niveau d'avancement du produit. On s'intéressera donc aux phases de conceptualisation de développement et d'utilisation et dans ces phases, seuls les acteurs notés en gras nous intéressent. Le système politique n'impactera pas notre système dans l'immédiat. On peut regrouper ces acteurs en cinq grands groupes :

- Le système économique ou seul le client nous intéresse qu'on regroupera avec les utilisateurs finaux du système sociétal et qu'on intitulera système client (utilisateur, operateur),
- Le système environnemental direct (avionique et structure de l'aéronef) et indirect environnement physique de l'aéronef
- Le système législatif et réglementaire ou l'ensemble des normes dans les phases qui nous intéressent seront considérées
- Le système sociétal ou apparaissent les ingénieurs de conception, les producteurs et les industriels
- Le système technologique

Ces parties prenantes si elles ne sont pas considérées pourraient dès le départ mettre en péril le système.

2.7.2.1. Environnement indirect

L'environnement indirect est l'environnement de l'avion, de l'hélicoptère ou du lanceur. Il peut être décomposé comme suit :

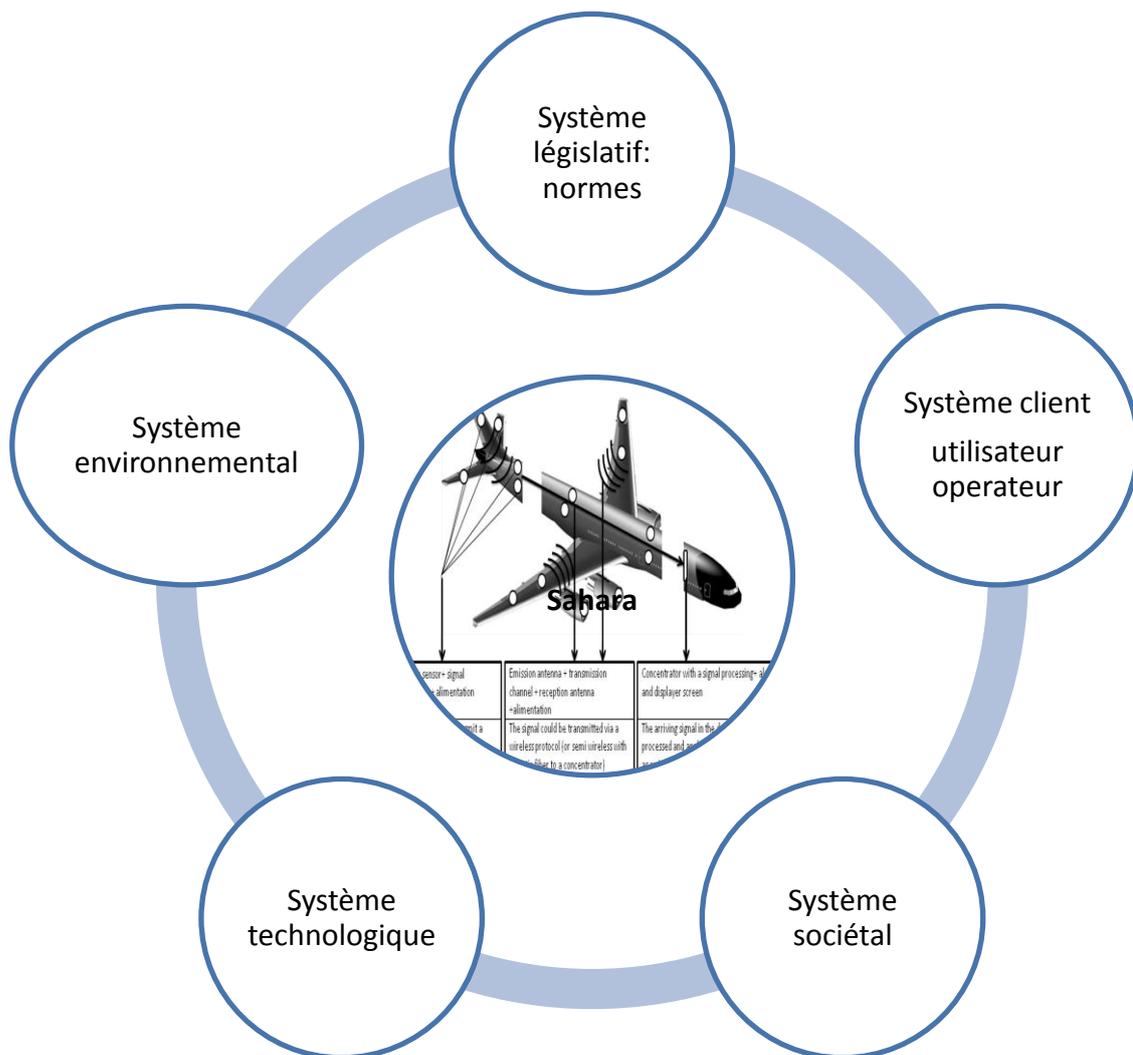


Figure 5 : système environnementaux indirect

2.7.2.1.1. Système environnemental :

Ce système est composé de l'ensemble des conditions physiques et climatiques dans lesquelles l'aéronef évolue: il comprend les éléments naturels qui pourraient impacter sur SAHARA (foudre pluie, neige, froid, EMI, vibration) ainsi que de tous les systèmes extérieurs à l'aéronef qui pourraient interférer (onde électromagnétique émises par tout type de système)

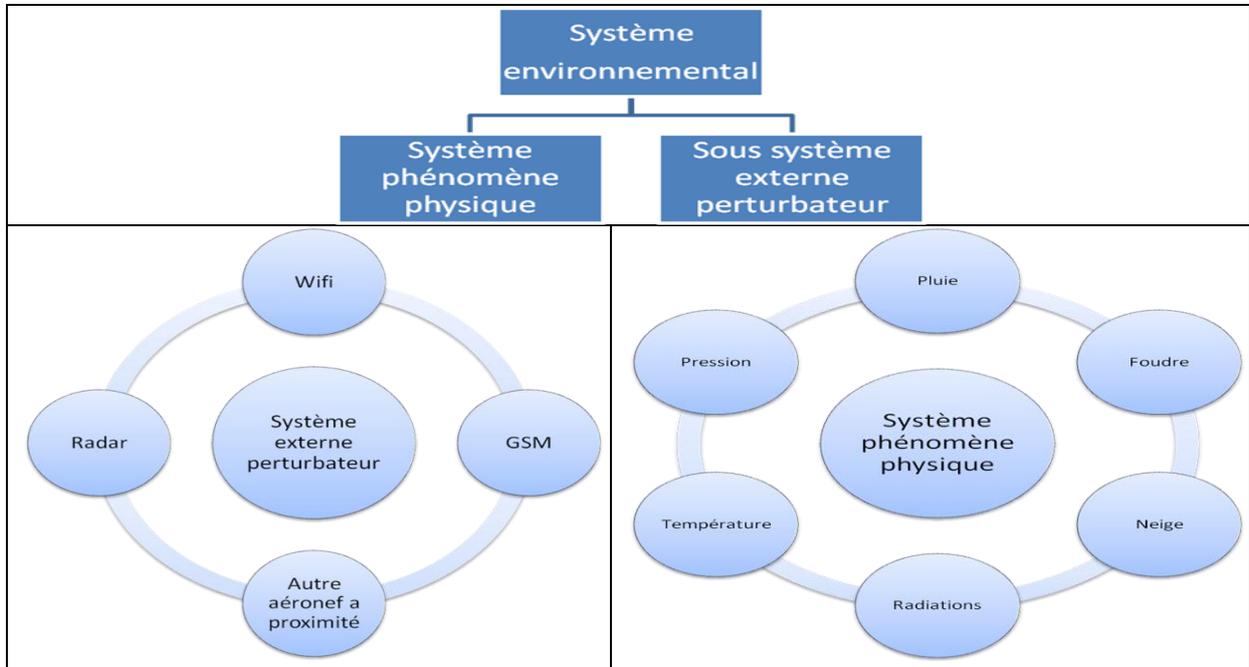


Figure 6 : Système environnemental au sens de l'environnement de l'aéronef

2.7.2.1.2. Système normatif (législation) :

Il inclue les normes sanitaires, la législation inhérente à la régulation des bandes de fréquences ITU et les normes aéronautique [ITU], [DO-160], [DO-178]

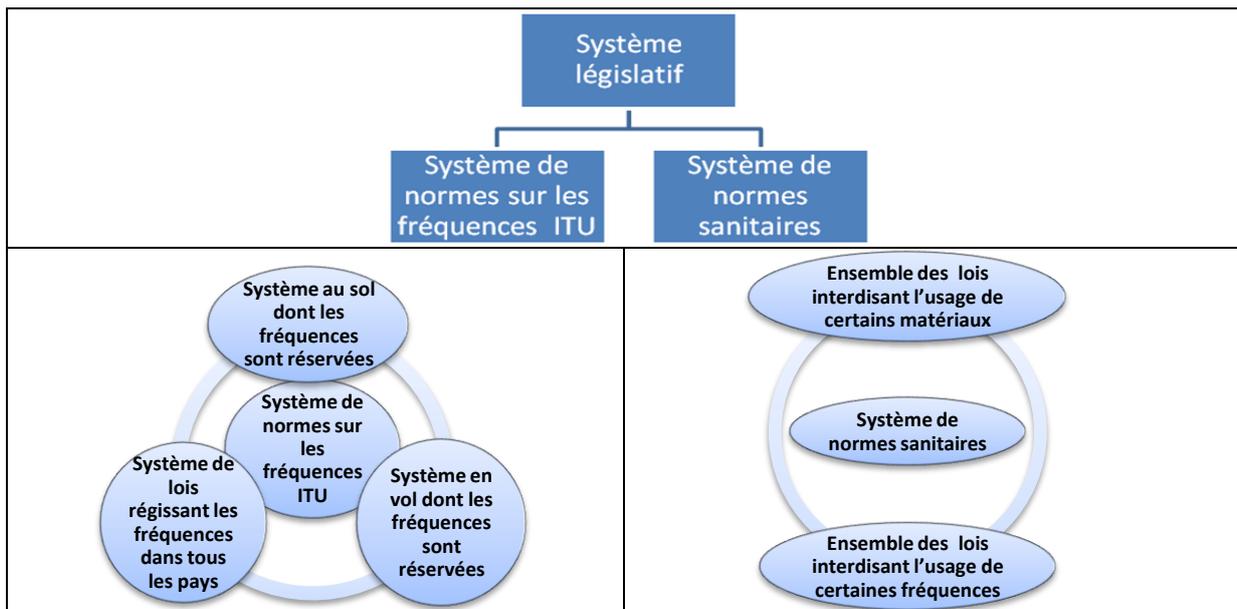


Figure 7 : système législatif

2.7.2.1.3. Le système sociétal ingénierie:

Ce système inclut tous les acteurs en charge de la conception de la réalisation et de la production du système SAHARA

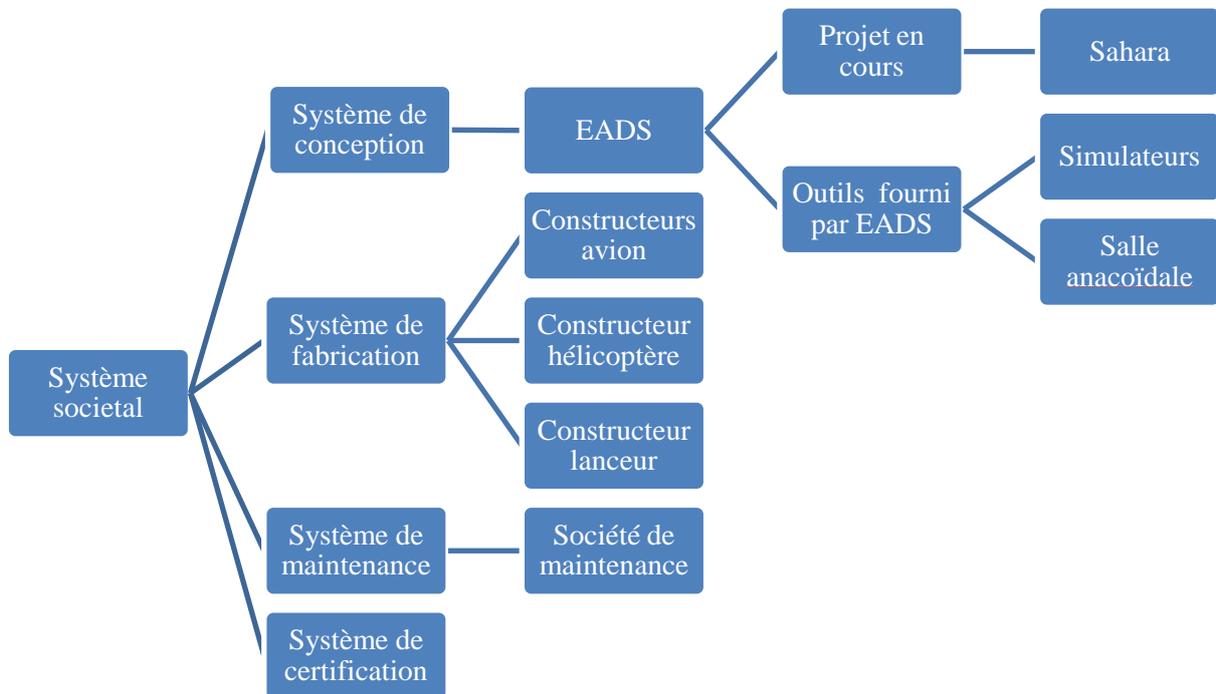


Figure 8: système d'ingénierie

2.7.2.1.4. Système technologique :

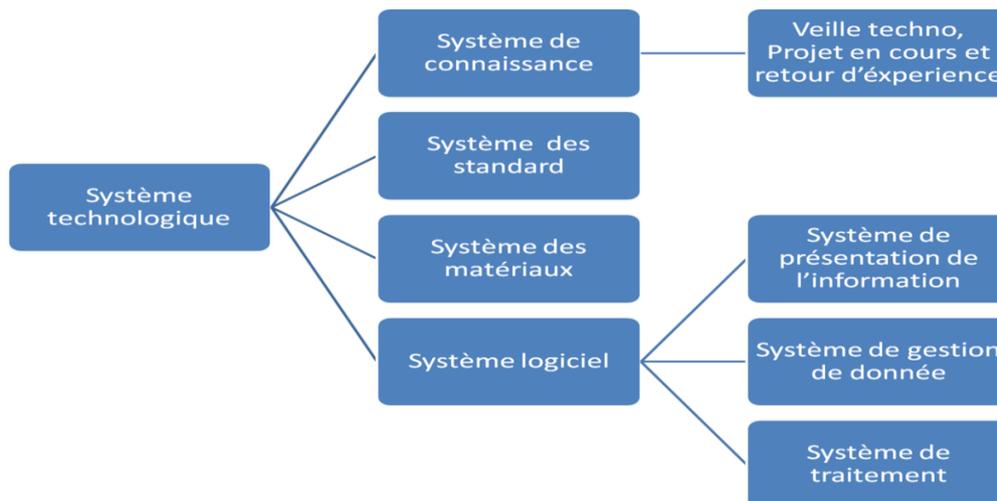


Figure 9 : système technologique

2.7.2.1.5. Clients, operateur, utilisateur:

Les clients sont de plusieurs types ils ont un niveau de proximité de différente envergure avec le système. Le client est celui qui tire profit du produit et bénéficie des services qu'il peut fournir.

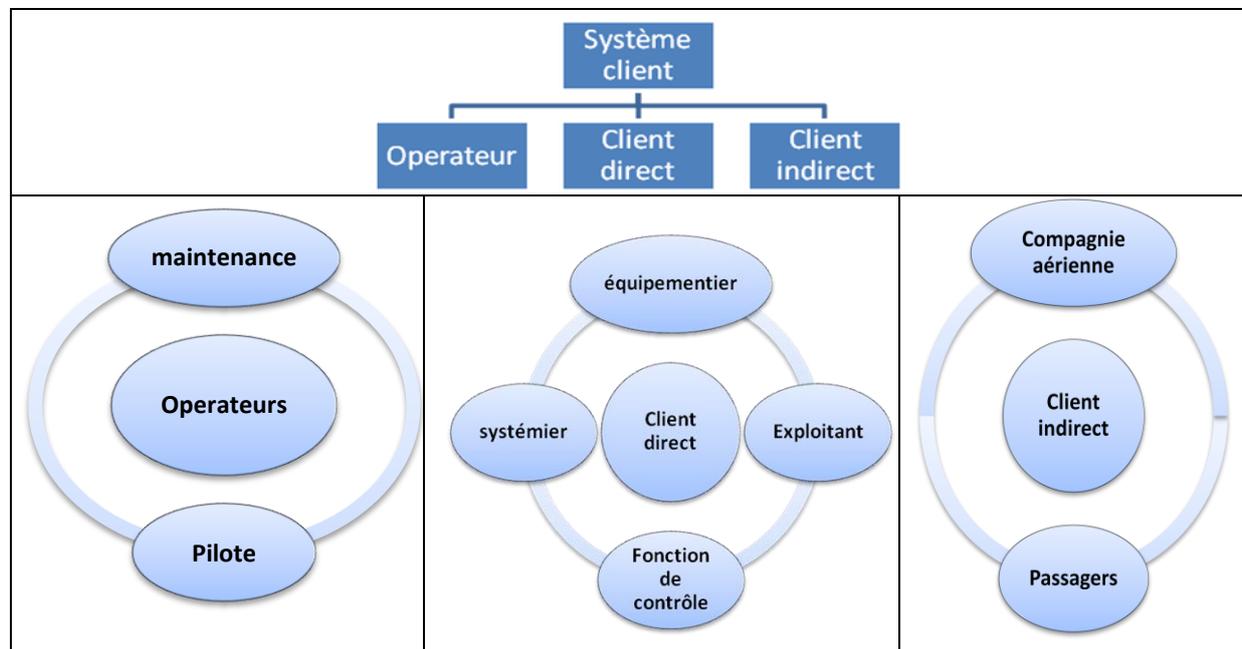


Figure 10 : système clients

Pour les avions, les systémiers, les équipementiers et les exploitants profiteront d'un produit plus léger et dont la maintenance sera améliorée par l'accroissement des points de surveillance offert par cette nouvelle technologie.

Dans un hélicoptère et sur un plan fonctionnel, les principaux clients sont les fonctions intégrant des capteurs installées en partie tournantes, on citera notamment les pales et les éléments de transmission.

Une autre fonction cliente est le contrôle de la santé de la machine, dont la vocation est d'installer de plus en plus de capteurs, notamment dans les zones les plus confinées. Sur un plan intégration, les principaux clients seront les équipements avioniques d'un système.

2.7.2.2. Environnement direct

Pour notre système cible sera donc composé essentiellement des différents systèmes embarqués à bord des aéronefs. Chaque catégorie de système influe de près ou de loin sur SAHARA et représente donc des contraintes potentielles qui donneront lieu à une série d'exigence (problématique CEM, température extrême à l'approche des moteurs) qui découle d'une exigence primordiale : Le système ne doit pas perturber ni être perturbé par les systèmes environnants

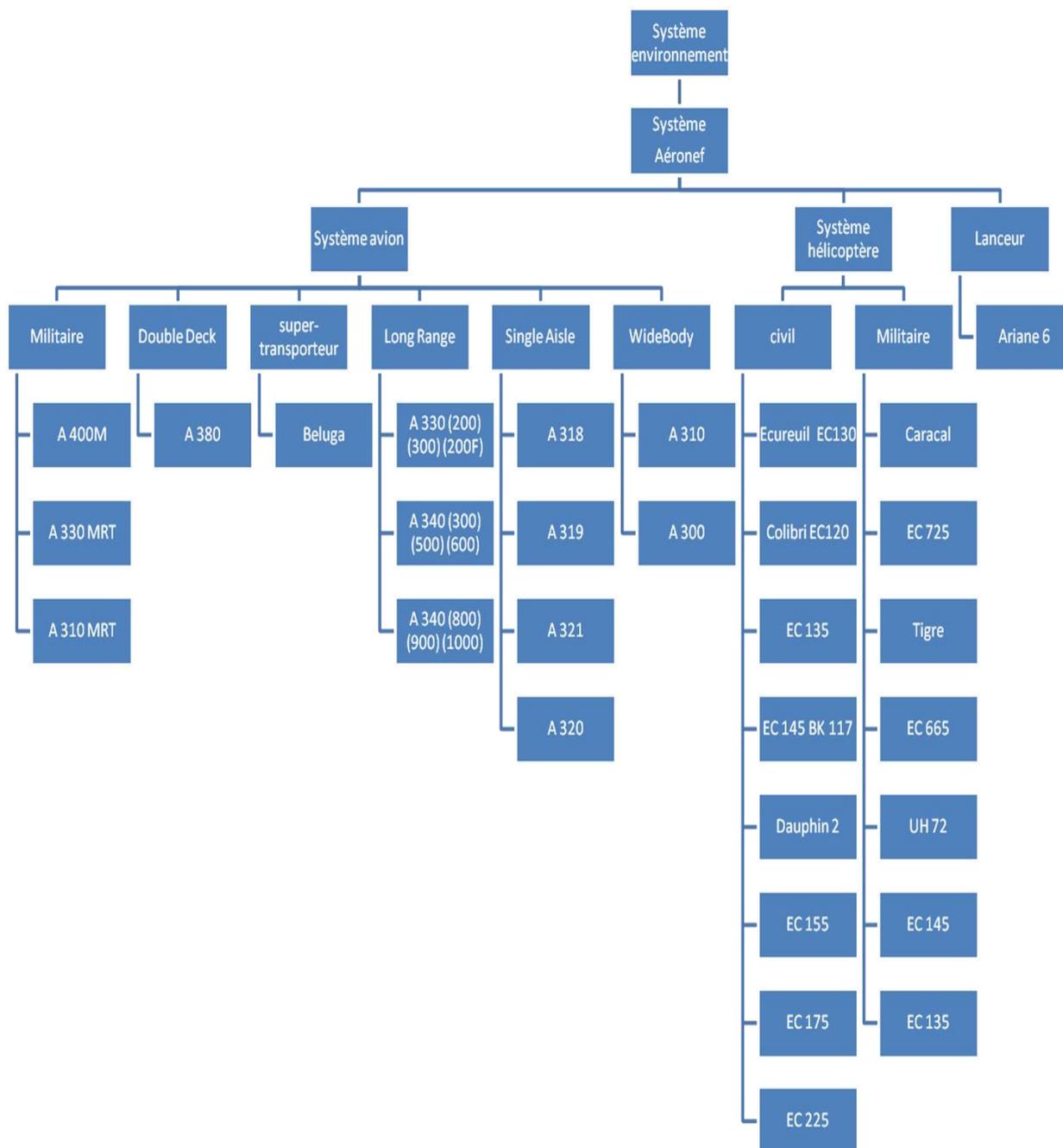


Figure 11 : environnement direct du système SAHARA

On peut décomposer les aéronefs en plusieurs catégories de système

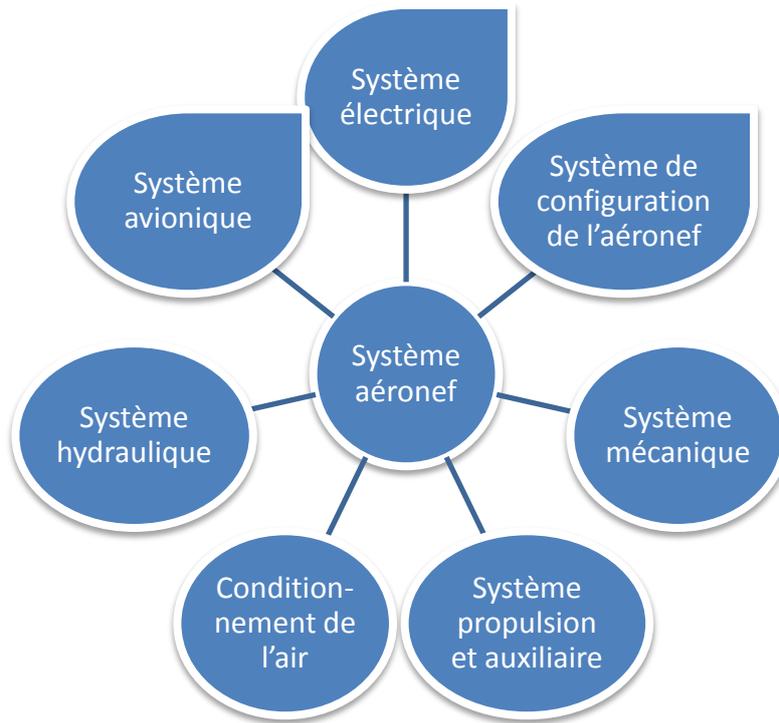


Figure 12 : détail des sous systèmes aéronef

Détail des systèmes impactant sur SAHARA selon les normes ATA 100

- Système avionique
- Système électrique
- Système configuration de l'aéronef

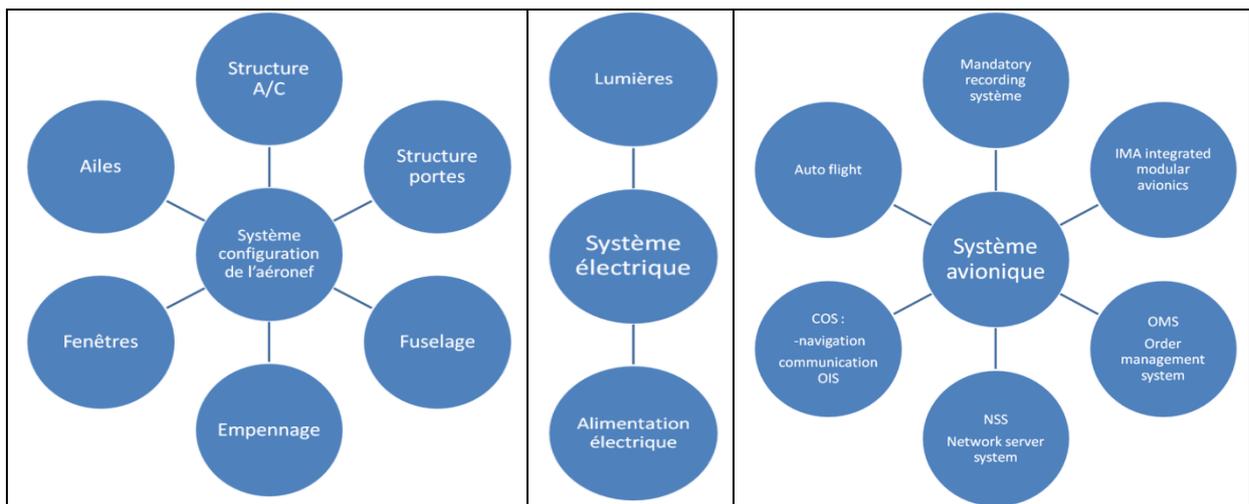


Figure 13 : détail des systèmes environnementaux directs influents

2.7.2.3. SAHARA : « un système dans un système »

Le système SAHARA est soumis à un environnement direct qui est l'aéronef à bord duquel il est embarqué et à un environnement indirect qui est celui de l'aéronef lui-même. [Sage02]



Figure 14 : SAHARA, un système dans un système soumis a un environnement direct et indirect