



**SORBONNE
UNIVERSITÉ**

TLTE
PARIS SORBONNE

LE SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ EST-IL VOUÉ À RESTER UNE PRESTATION DE LUXE DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ?

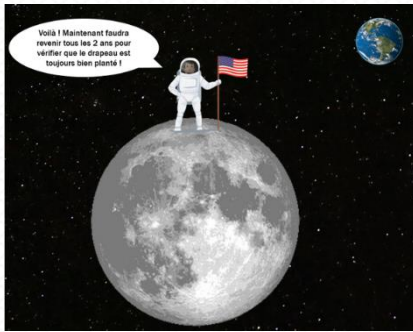
L'ENJEU CENTRAL DE L'USAGE DANS LA GESTION DU CYCLE DE VIE DES SYSTÈMES COMPLEXES

Voilà ! Maintenant faudra
revenir tous les 2 ans pour
vérifier que le drapeau est
toujours bien planté !



Par Julien Deroubaix

**Sous la Direction de M. Pascal Albertini, Professeur des Universités Associé
Octobre 2021**



Cette image représente un astronaute américain, que l'on pourrait assimiler à Neil Armstrong durant la mission Apollo 11, plantant le drapeau des USA sur la Lune. Nous le voyons s'exclamer qu'il faudra revenir régulièrement pour vérifier que le drapeau reste bien en place. Cette petite phrase a évidemment une touche d'humour dans le sens que l'on comprend bien que cela va être tout de même compliqué de tenir ce rendez-vous. Nous voyons la Terre au loin et le trajet ô combien complexe qu'il faut réaliser pour y parvenir, pour finalement juste relever un simple drapeau qui serait tombé avec le temps.

Derrière l'humour de cette situation, la scène a le mérite d'introduire plusieurs aspects du Soutien Logistique. C'est-à-dire qu'on y a recours quand un équipement est défaillant ou ne remplit plus sa mission (ici le drapeau), quand les conditions ou l'environnement est particulier et doit être pris en compte (ici l'espace), on ne le mobilise pas pour tout et n'importe quoi (ici, l'intérêt de relever un drapeau reste assez faible), et c'est une prestation qui mérite d'être réfléchié avant son exécution (ici, n'aurait-il pas mieux fallu lors du premier voyage, de laisser un mécanisme sur place permettant de relever le drapeau tout seul, sans être forcé de refaire tout le trajet). Cela illustre bien donc le Soutien Logistique, qui est une prestation particulière à certains équipements et qui peut représenter un luxe que tout le monde ne peut pas s'offrir.

Cette scène est à mettre en relief avec les ambitions « lunaires » d'organismes Étatiques ou supra-Étatiques, voir privés, qui rêvent depuis quelques années de coloniser la Lune et ainsi implanter une base lunaire dans la décennie à venir. On dénombre notamment le CNSA, la NASA, l'ESA, mais aussi Blue Origin, SpaceX ou encore Moon Express qui ont cet objectif dans leur programme. Il ne s'agira pas tant alors de mettre en place un dispositif de transport régulier permettant l'approvisionnement des bases lunaires, mais plutôt de planifier leur auto-suffisance et leur indépendance vis-à-vis de la Terre, et donc de mettre en place un soutien logistique embarqué spécifique, réfléchi au préalable, qui sera disponible sur la Lune.

Ce mémoire cherche donc à comprendre pourquoi le Soutien Logistique Intégré se limite bien généralement à être employé sur des projets à grandes dépenses, et essaiera de faire émerger les conditions favorables à l'élargissement de son champ d'action.

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

RÉSUMÉ

Ce mémoire a pour objet de recherche le Soutien Logistique Intégré et s'intéresse donc à savoir si celui-ci peut présenter une réelle pertinence économique à l'avenir. Comme détaillé dans l'annexe 2 qui présente l'origine du sujet et notre positionnement par rapport à celui-ci, nous avons l'intuition que dans le cadre d'une transition vers un modèle de développement durable, le SLI peut y déployer tout son potentiel sous certaines conditions, et ce mémoire cherche donc à en identifier les leviers de développement.

Nous avons ainsi commencé notre travail d'identification des freins au développement du SLI au travers de l'étude d'un appel d'offres de la DGAC/DSNA qui spécifiait en exigences clients le recours à la prestation du SLI. Cela nous a permis de dégager de premières hypothèses en la matière, notamment la difficulté du client à spécifier ses exigences de soutien, le problème du principe d'acquisition, ainsi que le problème du Sur-mesure.

Dans un second temps, nous nous sommes plus portés sur les succès économiques du SLI, et notamment sur le secteur du spatial, avec la rupture technologique qu'a constitué le pari de développement des lanceurs réutilisables de SpaceX. Cela nous a permis, entre autres, d'identifier les stratégies de conception et de soutien qui aident à rentabiliser le coût de développement d'un système plus durable. Ainsi, nous avons vu qu'un système était plus soutenable et donc plus durable s'il était doté dès la conception de moyens de soutien embarqués, avec notamment des moyens de diagnostics et de contrôle d'état, des moyens de communication pour informer en temps-réel et des moyens décisionnels avec des automates intelligents. Ces moyens de soutien sont alors d'autant plus performants si les éléments constitutifs du système sont relativement standardisés et modularisés pour faciliter leur identification et leur contrôle d'état par la partie informationnelle du système.

Enfin, dans un dernier temps, nous nous sommes projetés dans une identification des évolutions des modèles d'affaires, sous l'action de la transformation numérique des systèmes. Nous avons ainsi pu constater que l'évolution des modalités de contractualisation qui se tournent vers des engagements de performance, l'évolution du modèle d'acquisition qui se traduit de plus en plus par une location de l'usage, ainsi que l'évolution des modèles d'affaires qui désormais intègrent verticalement l'exploitation des systèmes, tout ceci amène à penser que le SLI deviendra une prestation incontournable pour développer des systèmes durables de plus en plus complexes.

Mots-clefs :

Systemes, complexité, soutien, logistique, soutenabilité, conception, soutien logistique intégré, sur-mesure, standard, acquisition, exploitation, réutilisation, stratégies, modèles d'affaires, location, usage, transformation numérique, automates, sûreté de fonctionnement, intégration verticale, contractualisation, performance, développement durable

REMERCIEMENTS

Chers Lecteurs,

Avant de vous aventurer plus loin dans la lecture de ce mémoire, je tiens à prendre un peu de votre temps pour signifier, avec vous, mes plus sincères remerciements à toutes les personnes, sans qui ce mémoire n'existerait pas ou, à fortiori, ne serait nullement à la hauteur de ce qu'il est désormais.

Je souhaite remercier avant tout le monde, Monsieur Albertini, qui a su m'accompagner judicieusement dans ma démarche depuis maintenant 1 an. Ses encouragements, ses conseils, mais aussi ses commentaires parfois plus négatifs, m'ont été d'une grande aide pour la réalisation de ce mémoire. Merci d'avoir pris le temps de tout lire et de m'avoir toujours répondu dans les plus brefs délais. Tout cela n'aurait pas été possible sans vous. Merci beaucoup.

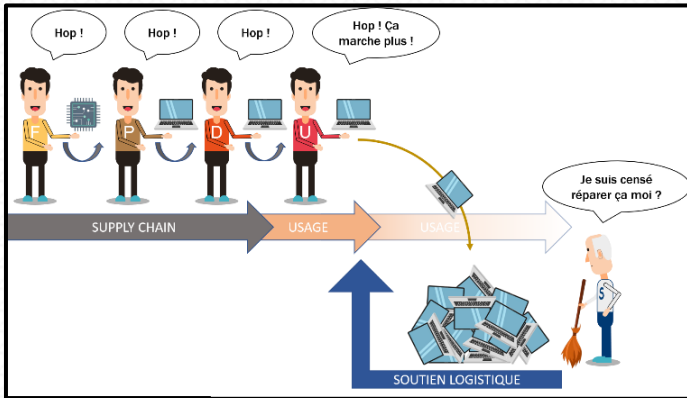
Je souhaite remercier aussi Monsieur Bernier et l'ensemble de l'équipe pédagogique du Master TLTE, pour ces deux belles années, quoiqu'on en dise, vous m'avez tant apporté pour la suite de mon parcours, et l'aboutissement que je porte aux yeux de mes lecteurs aujourd'hui, c'est aussi un peu le vôtre.

Je souhaite à présent remercier différents intervenants qui m'ont permis de nourrir ce mémoire d'expertises spécialisées, et sans lesquels l'approfondissement des analyses n'aurait pas pu voir le jour. En particulier, merci à Monsieur Jean-Yves Le Gall, Monsieur Marc Watin-Augouard, Messieurs Patrick Lauzière et David Préville, Monsieur Eric Ouanes, Monsieur Florian Duclos. Également, une attention particulière à Monsieur Jacques Printz que je n'ai pu rencontrer, mais dont les travaux m'ont été absolument essentiels. Enfin, merci plus largement au CNES et à la société LGM pour l'aide contributive qu'ils m'ont apportée.

Je souhaite remercier aussi la société Intelec qui a été bienveillante avec moi, tout au long de cette année. Merci de m'avoir donné du temps, en parallèle de cette année d'alternance, pour me consacrer à la création de ce mémoire.

Plus personnellement, je souhaite remercier ma partenaire de vie de m'avoir tant soutenu au quotidien. Ma famille et mes parents pour leur bienveillance, leur éducation, leur soutien de tous les jours. Et merci à mes camarades de TLTE, sans qui, ces deux ans n'auraient pas eu la même saveur.

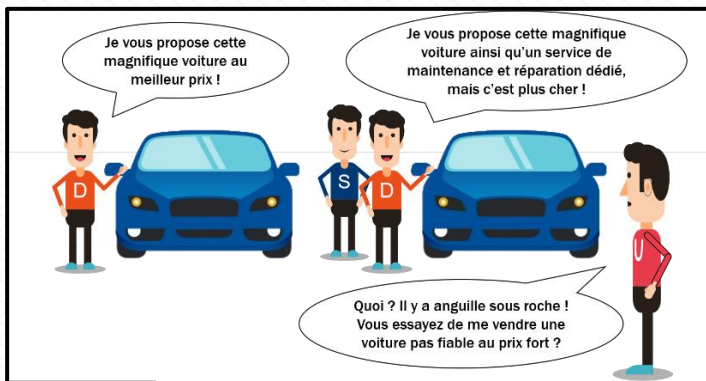
Enfin, je vous remercie, Chers Lecteurs, pour votre curiosité, sans elle, ce mémoire aurait déjà un peu moins de sens. J'espère que ce mémoire vous permettra d'en apprendre plus sur le Soutien Logistique Intégré et ses perspectives.



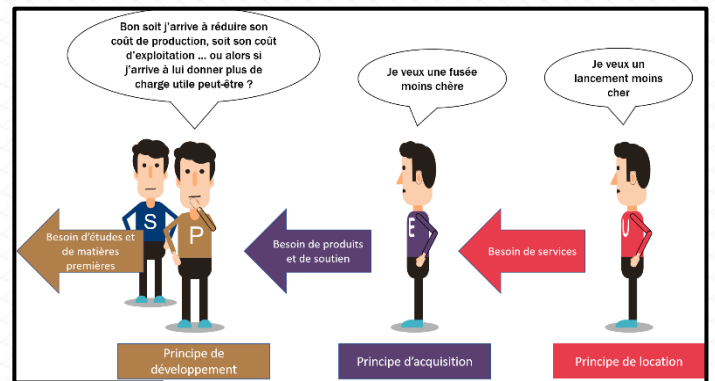
INTRODUCTION



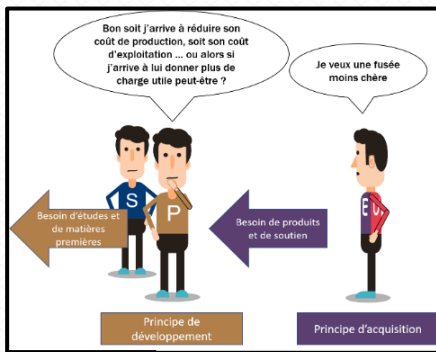
PROBLÉMATIQUE



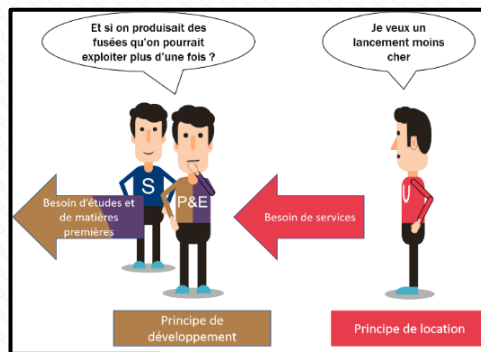
PARTIE 1



PARTIE 2



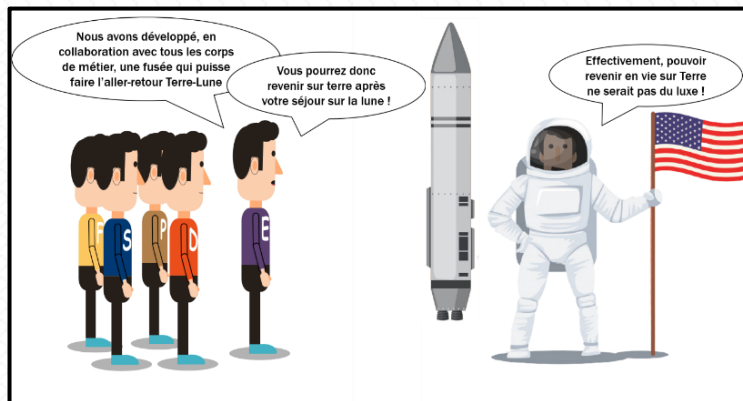
PARTIE 2



PARTIE 2



PARTIE 3



CONCLUSION

SOMMAIRE

10	INTRODUCTION - LA LOGISTIQUE DE SOUTIEN, UNE PRESTATION BIEN À PART DE LA SUPPLY CHAIN
30	PROBLÉMATIQUE - LE SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ EST-IL VOUÉ À RESTER UNE PRESTATION DE LUXE DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ?
32	PARTIE 1 - LE SLI, UNE PRESTATION MÉCONNUE, PEU VALORISÉE ET PEU VALORISABLE DANS LES CONDITIONS RÉGLEMENTAIRES ACTUELLES DES MARCHÉS
34	I. QU'EST-CE QUE LE SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ PRÉCISÉMENT ?
62	II. REGARDS ET POSITIONNEMENT DES PARTIES PRENANTES SUR LE SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ AU TRAVERS DE L'EXEMPLE DU MARCHÉ DES ASI POUR LA DGAC
82	PARTIE 2 - LE SLI, UNE INSPIRATION POURTANT SOURCE DE SUCCÈS ÉCONOMIQUES MAJEURS DE CES DERNIÈRES ANNÉES
84	I. ÉTUDE DE MARCHÉ DU SPATIAL : LE SUCCÈS DE SPACEX ET DES CUBESATS
118	II. LES STRATÉGIES DE CONCEPTION ET DE SOUTIEN DES LANCEURS RÉUTILISABLES DE SPACEX, ARIANEWORKS ET DU CNES
136	PARTIE 3 - LE SLI, UN SAVOIR-FAIRE INCONTOURNABLE À L'AVENIR POUR MAÎTRISER LA COMPLEXITÉ CROISSANTE DES SYSTÈMES ?
138	I. UN MONDE DE SYSTÈMES DE PLUS EN PLUS COMPLEXE POUR L'HOMME
154	II. D'UN DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES EXPLOITABLES À UN DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES EXPLOITÉS
166	CONCLUSION – UN SCHISME LOGISTIQUE PROFOND EST EN COURS D'ÉCLOSION ENTRE SUPPLY CHAIN ET SUPPORT CHAIN
172	ANNEXES

LECTURE DE CE MÉMOIRE

Pour mieux se repérer dans la lecture de ce mémoire, il y a plusieurs éléments identifiables :

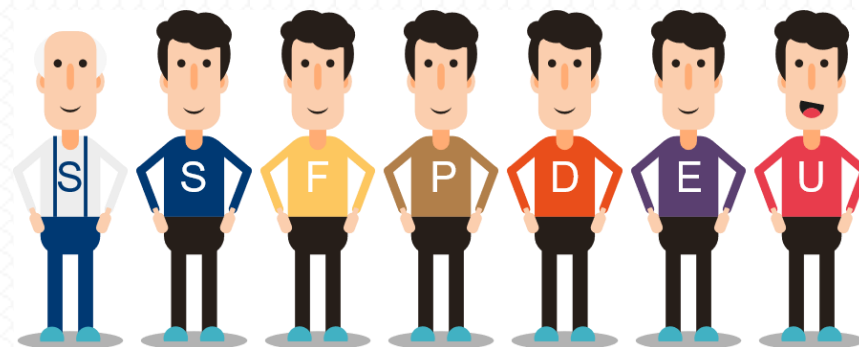
- La page de couverture des parties contient une production infographique réalisée par mes soins et le déroulement de l'argumentaire qui suit est comme ceci :

I. Qu'est-ce que le Soutien Logistique Intégré précisément ?

A. Une discipline centrée autour de la sûreté de fonctionnement des systèmes

1. La Fiabilité

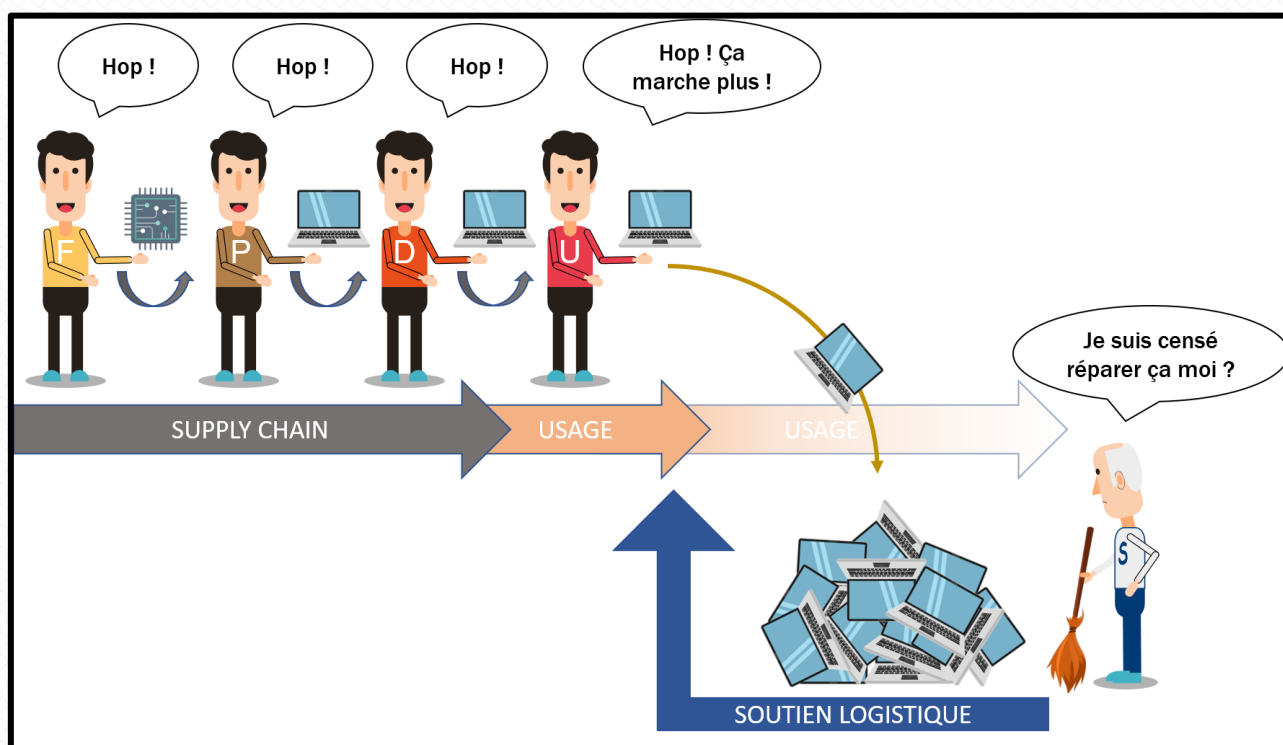
- Les productions infographiques des parties font intervenir une multitude de personnages qui, dans l'ordre, représentent deux experts en soutien, un fournisseur, un producteur/concepteur, un distributeur, un exploitant et un usager.



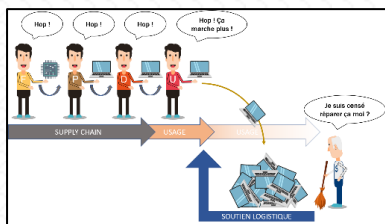
- La page de gauche contient les illustrations, les productions infographiques et les éléments d'explication des productions infographiques des parties, tandis que la page de droite contient le texte et l'argumentation générale du mémoire.
- Les éléments importants sont en **gras** et les éléments de transition accompagnés de conclusions de parties sont encadrés en **bleu**
- Les questions sont colorisées en **bleu**.
- Les extraits de citation sont centrés et écrivent dans cette police :

« Un instrument de planification de la commande publique, un contrat par lequel l'acheteur public s'engage à passer des marchés ou des bons de commandes auprès du ou des titulaires de l'accord, pendant une période donnée et pour des prestations déterminées »

INTRODUCTION



LA LOGISTIQUE DE SOUTIEN, UNE PRESTATION BIEN À PART DE LA SUPPLY CHAIN



Ce schéma illustré représente la Supply Chain avec des personnages qui, chacun, représente une étape du processus, du Fournisseur, au Producteur, puis au Distributeur, jusqu'à l'Usager. Nous pouvons voir aussi le personnage du Soutien Logistique qui se trouve bien à part de la chaîne. En effet, il intervient après l'acquisition du bien, soit lorsque l'ensemble de la chaîne s'est rémunéré et a accompli sa mission. Il s'agit donc de montrer que dans la Supply Chain actuelle, le Soutien Logistique est en

position où il subit les flux qui s'écoulent vers lui et, il doit plus s'adapter à la Supply Chain que la Supply Chain ne doit s'adapter à lui. Le fait qu'il ne soit pas correctement équipé pour réparer les équipements en est une preuve, et le balai est un indice sur la décision qu'il va prendre : s'en débarrasser plutôt que perdre du temps à essayer de réparer.

Enfin, il faut aussi y voir parfois des objectifs contradictoires entre la Supply Chain et le Soutien Logistique. En effet, le Soutien Logistique intervient pour rallonger la durée d'usage des équipements, comme nous pouvons le constater avec cette flèche d'usage qui s'allonge après l'intervention. Tandis que l'objectif de la Supply Chain est de délivrer le bon nombre d'équipements au bon moment, au bon endroit, elle en fait son chiffre d'affaires. Or plus le Soutien Logistique rallonge la durée de vie de l'équipement, moins l'utilisateur a besoin d'un nouvel équipement et moins la Supply Chain augmente son chiffre d'affaires.

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Ce mémoire s'écrit dans un contexte d'une **crise sanitaire de portée mondiale** qui, si elle n'est pas la première dans l'histoire de l'humanité, ni la plus meurtrière^A, dénote de par l'ampleur des enjeux économiques et commerciaux qu'elle met en péril. Selon Gita Gopinath, économiste en chef du Fonds monétaire international (FMI), la pandémie de covid-19 devrait amputer le Produit Intérieur Brut mondial de 22 000 milliards de dollars dans les cinq ans à venir⁴³. Ceci est à mettre en perspective avec les données de la banque mondiale qui estime le PIB mondial en 2019 à 87 735 milliards de dollars courants²¹. Nous parlons donc de **pertes estimatives à 25% de la production mondiale d'une année**. Selon l'ONU, c'est 8,8% des heures de travail qui ont été perdues dans le monde sur l'ensemble de l'année 2020, soit 255 millions d'emplois en temps plein⁶⁰.

Si ce bilan peut sembler catastrophique et inquiétant pour l'avenir, il est toutefois intéressant de noter que, toujours selon l'ONU, plus de 70% des pertes d'emploi enregistrées en 2020 sont attribuées à l'inactivité plutôt qu'au chômage⁶⁰. En effet, il semble que ce soient plus les mesures de restrictions d'activités et de déplacements liées à la pandémie de Covid-19 qui soient à l'origine de ces perturbations économiques plutôt que la pandémie en elle-même. Ce qui nous amène aujourd'hui à penser la continuité d'activité sous un tout nouvel angle, bien plus essentiel et bien plus large que par le passé, où seuls les secteurs bancaires, certains services publics et les sociétés cotées au NYSE se voyaient dans l'obligation de réaliser un Plan de Continuité d'Activité (PCA). *Car en effet, aujourd'hui, qui n'est pas impacté par la question de la mobilité des salariés ? Qui peut se targuer d'être protégé de tout risque de perte de données informatiques sensibles ? Qui n'est pas dépendant d'un fournisseur pour l'accomplissement de son activité ?* Selon un rapport de Proofpoint, leader de la cybersécurité, près de 91% des organisations françaises ont été la cible d'au moins une cyberattaque sur l'année 2020⁵³, une explosion dû notamment à l'éclatement spatial des organisations avec le télétravail. Tandis que du point de vue des dépendances fournisseurs, nous vivons à l'heure actuelle où ce mémoire est écrit, une pénurie sans précédent de semi-conducteurs qui paralyse toutes les filières technologiques mondiales³⁶.

Nous le voyons bien aujourd'hui, et la pandémie de Covid-19 n'en est qu'un des nombreux électrochocs, la continuité d'activité est un des thèmes qui occupera une place centrale dans l'univers des entreprises et des sociétés humaines au cours du 21^{ème} siècle. Les activités humaines devront **être résilientes ou ne pas être**.

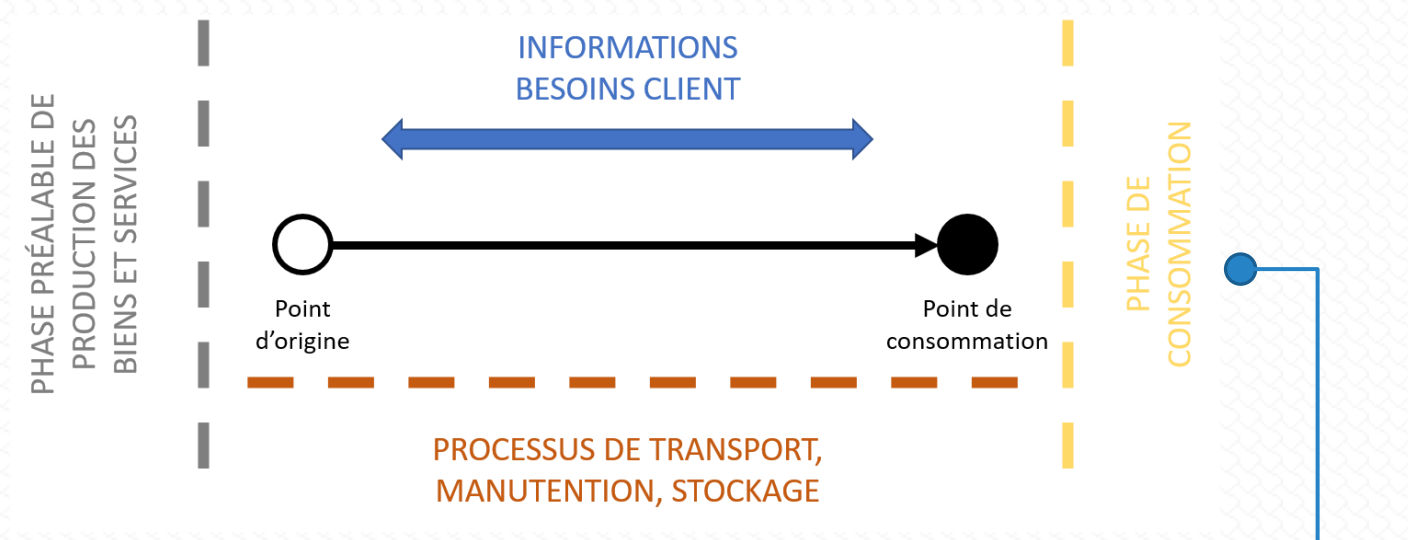
Ce mémoire s'inscrit donc dans ce contexte de multiplications de crises mondiales affectant de plus en plus les économies nationales mondialisées, mais aussi les simples individus quelle que soit leur inscription locale. Nous l'avons vu, la gestion de la crise par le gouvernement français a d'abord été une approche Top-Down, recherchant des indicateurs macro-tendancielles pour décider, mais résultant alors à un confinement généralisé destructeur pour de nombreuses activités sacrifiées. Puis est venue une approche plus Bottom-Up, recherchant des indicateurs micro et locaux pour décider, mais résultant alors à une confusion généralisée des parties prenantes, réduisant ainsi l'efficacité des décisions. Ainsi, le sens de ce mémoire est de montrer qu'il faudra passer par une approche plus systémique pour assurer une continuité d'activité et une société plus résiliente face au climat de crise perpétuelle que nous vivons de nos jours. L'idée de fond pourrait être résumée par une citation non moins célèbre de Blaise Pascal issue de son œuvre posthume, Les Pensées, traitant alors de la disproportion de l'homme pour contredire la quête de vérité de ses pairs sur l'ordre du monde :

« ... Toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiatement et immédiatement, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties. » (Pascal, 1669)

[A] Il faut penser notamment à la grippe espagnole dans l'histoire récente qui a eu un bilan humain plus important. Mais nous pouvons remonter bien plus loin jusqu'au Moyen-âge tardif, avec la peste noire qui n'a toujours pas été éradiqué depuis, ou encore jusqu'à l'Antiquité, avec la peste antonine qui n'est nulle autre que l'une des causes majeures de la chute de l'Empire Romain, rien que ça.

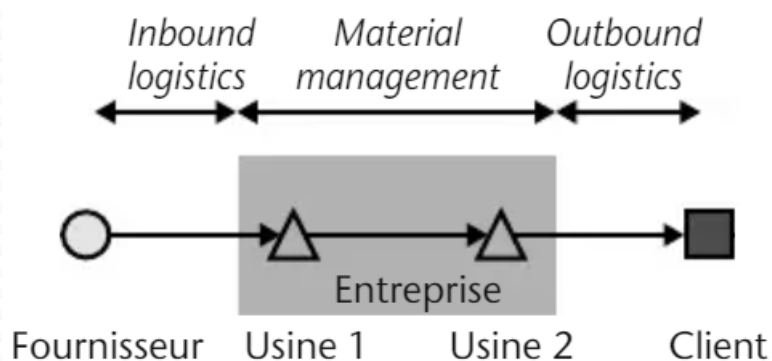
Afin de cadrer le sujet de ce mémoire, nous allons d'abord définir les termes essentiels à la bonne compréhension des problématiques en jeu : la Logistique (1), la Supply Chain et le Management (2), le Soutien Logistique et le SLI (3), les Systèmes et la Complexité (4)

SCHÉMA 1 - LA LOGISTIQUE SELON LE CSCMP



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix, 2021

SCHÉMA 2 - LE PÉRIMÈTRE ÉTENDU DE LA LOGISTIQUE



Source : Le Moigne, R. (2017). Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente (2^{ème} éd.), Dunod. p. 14

1) LOGISTIQUE OU LOGISTIQUES

Apporter une définition à la logistique n'est pas simple, tellement son sens a évolué au cours de l'histoire et ses applications aujourd'hui en sont diverses.

Selon le dictionnaire historique de la langue française Le Robert (2000), l'étymologie du mot logistique vient du grec « *Logistikos* » (« relatif au raisonnement ») ou « *Logisteuo* » (« administrer »). C'est Platon (428-348 av. J.C.) le premier, qui va utiliser le mot *logistikos* pour opposer le calcul pratique (logistique) à l'arithmétique théorique.

Le terme « logistique » trouve ensuite son origine dans le milieu militaire et provient du grade d'un officier napoléonien en charge du « *logis* » des troupes, lors du combat : « major général des logis » (Jomini, 1837). Mais l'appellation de ce grade ne rend pas bien compte de l'importance de l'activité logistique sous les guerres napoléoniennes. En effet, à la fin du 18^{ème} siècle, avec l'essor de l'artillerie et la croissance des armées atteignant parfois des centaines de milliers d'hommes, la « guerre sans camps » se développe au détriment des guerres de siège. L'approvisionnement des troupes en mouvement devient un enjeu crucial et la rapidité des armées, une ressource stratégique⁷⁷. Dans son ouvrage, le « Précis de l'art de la guerre » (1838), Jomini tire les enseignements des campagnes napoléoniennes auxquelles il a assisté au sein de l'Etat-Major de la Grande Armée, en considérant la logistique « comme l'art pratique de mouvoir des armées ». Il ne s'agit alors plus de penser comme le fameux dicton « l'intendance suivra ! », mais de penser logistique pour élaborer la stratégie militaire. La stratégie de Napoléon était alors de chercher la bataille décisive en menant l'armée adverse sur un terrain favorable qu'il avait préalablement choisi. Il lui fallait donc faire arriver **le bon nombre de troupes au bon endroit, au bon moment**, et le plus rapidement possible pour disposer de forces supérieures à celles d'un ennemi parfois supérieur en nombre, mais moins rapide et plus dispersé.

Ainsi, la logistique nous semble être l'ensemble des processus de transport, de stockage et de manutention nécessaires pour **apporter ce qu'il faut, là où il le faut et quand il le faut**. Et une bonne logistique serait donc celle qui satisfait le mieux ces 3 critères du client.

Pour le Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) la logistique désigne :

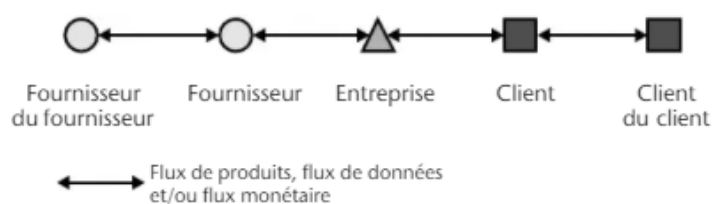
« Le processus de planification, d'exécution et de contrôle des procédures de transport et de stockage des biens (et des services) efficace et efficient, et des informations associées, du point d'origine au point de consommation dans le but de répondre aux besoins du client ».

Mais cette définition, bien qu'elle soit la plus englobante possible, ne rend pas compte de la variation du périmètre d'action de la logistique selon l'activité qu'elle concerne. En effet, la logistique recouvre bien les fonctions de transport, stockage et de manutention, mais, par exemple, dans le cas d'une entreprise de production, elle peut étendre son domaine en amont vers l'achat et l'approvisionnement, et en aval vers la gestion commerciale et la distribution.

Il n'y a donc pas une seule logistique, mais plusieurs qui diffèrent de par la nature de leurs objectifs et les méthodes appliquées pour y répondre. Yves Primor et Michel Fender distinguent ainsi ces logistiques en 8 catégories :

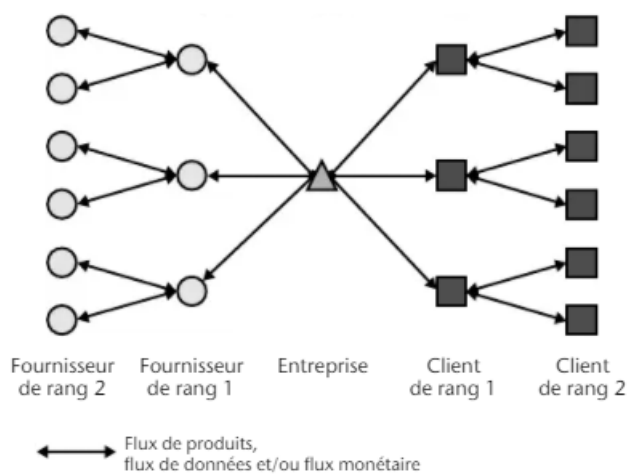
- **Une logistique d'approvisionnement**
- **Une logistique d'approvisionnement général**
- **Une logistique de production**
- **Une logistique de distribution**
- **Une logistique militaire**
- **Une logistique de soutien**
- **Une activité dite de service après-vente**
- **Des reverse logistics** (Primor & Fender, 2008, p. 4)

SCHÉMA 3 - LA SUPPLY CHAIN EN THÉORIE



Source : Le Moigne, R. (2017). Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente (2^{ème} éd.), Dunod. p. 11

SCHÉMA 4 - LA SUPPLY CHAIN DANS LA RÉALITÉ



Source : Le Moigne, R. (2017). Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente (2^{ème} éd.), Dunod. p. 11

Celle qui nous intéresse en l'occurrence, c'est la logistique de soutien. Mais avant d'aller plus loin, il nous paraît pertinent de définir ce qu'est une Supply Chain, car nous le verrons, la logistique de soutien y occupe une place tout à fait particulière.

2) SUPPLY CHAIN & MANAGEMENT

Le concept de Supply Chain est lui beaucoup plus récent et d'origine anglo-saxonne. En procédant à une traduction littérale, on obtient « Chaîne d'approvisionnement », ce qui finalement peut-être assimilable à la notion de logistique, prêtant alors souvent à la confusion. En effet, une définition récurrente est « la suite des étapes de production et distribution d'un produit depuis les fournisseurs des fournisseurs du producteur jusqu'aux clients de ses clients »^A.

« Mais c'est aussi un concept moteur en ce sens qu'il véhicule une certaine conception de l'organisation et du management des entreprises et qu'à cet égard il est loin d'être neutre. » (Primor & Fender, 2008, p. 5)

Ainsi, la Supply Chain ne concerne pas seulement les activités de la chaîne logistique, mais aussi les fonctions de management des activités qu'elles soient logistiques ou non. Le développement du concept de Supply Chain accompagne en fait un changement de paradigme économique dans les années 90 : le passage d'un modèle de gestion à flux poussé au modèle de gestion à flux tiré. En effet, le flux poussé consistait à produire un bien avant qu'un besoin particulier n'ait été formulé par un client sur le modèle du Fordisme. L'entreprise engage des moyens financiers sans être sûre à 100% qu'elle pourra vendre le fruit de sa production, et doit stocker le produit fini en attendant qu'un client ne l'achète, soit une immobilisation de trésorerie équivalente à la valeur de la production engagée. Tandis que le flux tiré fonctionne à l'inverse, c'est la demande d'un client qui sera l'élément déclencheur d'une mise en fabrication d'un produit, l'engagement financier étant ainsi entièrement pris en charge par le client.

Ce sont alors les activités logistiques qui deviennent les entités organisatrices des modèles productifs des entreprises avec une inversion du rapport de force certain, dans la mesure où les activités logistiques ne doivent plus donner satisfaction aux entités productrices, mais au consommateur, tandis que les entreprises de production doivent, elles, **produire ce qu'il faut, quand il le faut et où il le faut**. Depuis 1990, on a donc vu une montée en puissance de grandes Supply Chain Internationales, avec des prestataires logistiques toujours plus compétents (1PL, 2PL, 3PL, 4PL, 5PL), en effet les activités logistiques se font de moins en moins en compte propre dans un souci de mutualisation des flux et des coûts. De plus, le développement parallèle de la conteneurisation et de la taille des porte-conteneurs permettant des économies d'échelle et de réduire le coût logistique global d'une Supply Chain Internationale, a mis en concurrence les territoires et leur système productif, provoquant une délocalisation progressive du tissu industriel vers les pays « low-cost » et un éclatement spatial de l'organisation des entreprises dans le réseau réticulaire qu'est aujourd'hui l'archipel métropolitain mondial^B.

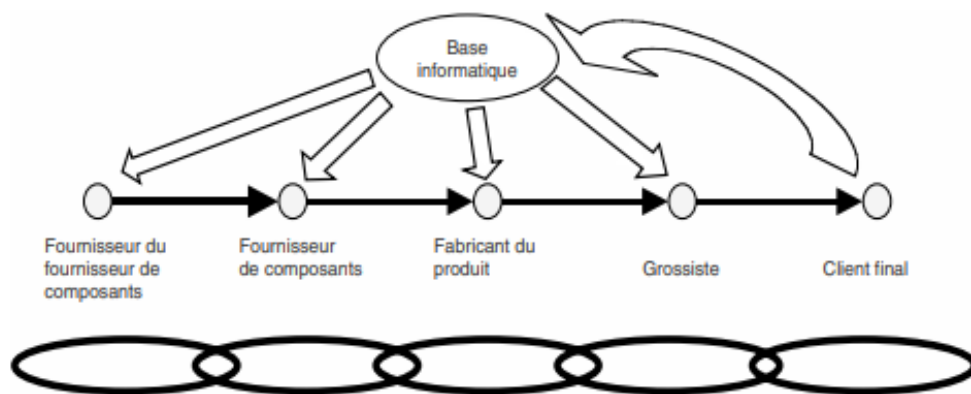
La chaîne logistique se définit donc comme une succession d'opérations et d'inter-opérations, sur laquelle s'écoule les flux physiques. Le concept de Supply Chain vient y rajouter les flux d'informations et les flux financiers qui remontent la chaîne logistique, en sens inverse, auxquels se greffent des questions de nature juridique relatives au transfert de propriété des marchandises (Primor & Fender, 2008, p. 7).

Ainsi, pour piloter de tels réseaux dynamiques, ces entreprises vont faire appel au Supply Chain Management. Selon l'ASLOG (Association française pour la logistique) :

[A] Définition du Supply Chain Council

[B] Dollfus Olivier, « Chapitre I. L'espace Monde, un espace géographique », *L'Espace Monde*. sous la direction de Dollfus Olivier. Paris, Economica (programme ReLIRE), « Géo-poche », 1994, p. 15-34.

SCHÉMA 5 - LA BASE DE DONNÉES INFORMATIQUES DE LA SUPPLY CHAIN



Source : Primor, Y., & Fender, M. (2008). Logistique. (5^{ème} éd.). Dunod. p. 4

« Le SCM comprend la prévision et le management de toutes les activités relevant de la recherche de fournisseurs, de l'approvisionnement, de la transformation et toutes les activités du management logistique. De façon essentielle, il inclut la coordination et la coopération avec les partenaires de la chaîne qui peuvent être les fournisseurs, les intermédiaires, les prestataires de services logistiques et les clients. Par essence, le SCM intègre le management de l'offre et de la demande dans et entre les entreprises. »⁶⁷

L'un des enjeux du Supply Chain Management est notamment de réduire les coûts et les pertes de temps, que l'on retrouve bien généralement dans les inter-opérations (phase de stockage par exemple). Il s'agit alors d'éliminer les opérations à non-valeur ajoutée dans des approches du type Lean Management et à fluidifier le processus d'écoulement des produits sur la chaîne^A. Pour cela, le traitement des informations et des métadonnées devient une part importante du management. Le regroupement de ces données dans une base informatique accessible à l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique permet alors une immédiateté de la réactivité du fournisseur le plus éloigné lorsque la demande de consommation du client évolue.

3) SOUTIEN LOGISTIQUE & SLI

Yann Darré définit le soutien logistique :

« Comme un ensemble d'activités visant à la satisfaction d'utilisation d'un équipement, en ce qui concerne sa conception, sa disponibilité et sa maintenance durant tout son cycle de vie »³.

Le terme de « disponibilité » est ici un élément central de la définition. En effet, un équipement est dit disponible s'il peut remplir la mission ou la fonction pour laquelle il a été conçu, au moment où on en a besoin. Ainsi le concept de disponibilité permet de mettre en évidence l'aptitude des systèmes à rester en fonctionnement et/ou l'aptitude à être réparé en cas de non-fonctionnement. On mesure cette disponibilité selon la fiabilité et la maintenabilité du système et selon l'efficacité de la logistique de maintenance, mais nous reviendrons sur cela plus loin dans le mémoire.

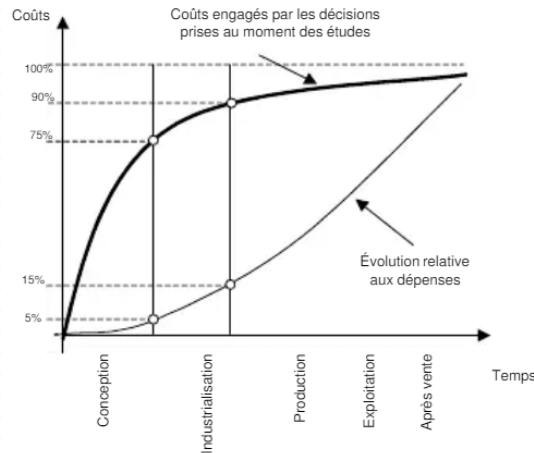
La prestation du soutien logistique entretient donc des liens étroits avec l'activité de maintenance, si bien qu'on l'appelle souvent la logistique de maintenance, alors que cette dernière n'en constitue qu'une partie intégrante.

Il faut en fait revenir à son origine militaire pour comprendre les enjeux et la portée du soutien logistique. Le terme « Soutien logistique » a été popularisé par la presse lors de la première guerre du Golfe dans les années 90¹⁰. Mais c'est bien lors de la guerre de 1939-1945 qu'il y a eu ce tournant de la logistique militaire, basé sur une meilleure prise en compte du Soutien Logistique. En effet, depuis des millénaires, il y a un principe de base qui régit la logistique militaire terrestre, c'est celui de l'approvisionnement sur le pays : **toute armée vit aux dépens du pays qu'elle occupe** (Primor & Fender, 2008, p. 64).

Si on a commencé à éprouver des difficultés avec ce principe lors des campagnes napoléoniennes avec l'accroissement des effectifs des armées, mais qui fut réglé par **une stratégie de déplacement continu** selon l'épuisement des ressources locales. La problématique en 39-45 et sur les guerres suivantes est toute autre, il ne s'agit plus forcément de nourrir les troupes, mais d'approvisionner des engins roulants, parfois de remplacer des pièces mécaniques, de disposer d'infrastructures aéroportées/maritimes opérationnelles et compatibles avec les avions et les navires de l'envahisseur, et tout cela sans aucun soutien local.

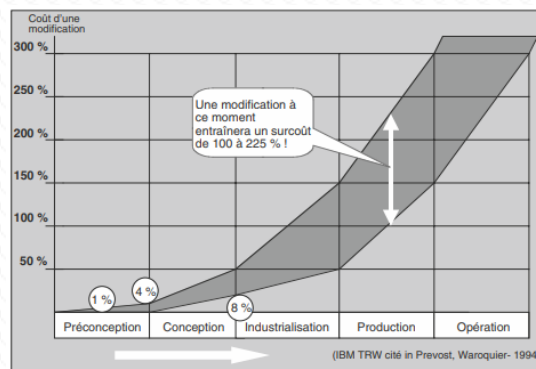
[A] Remarque : Il faut bien comprendre ici donc que, par définition, le Supply Chain Management constitue déjà en elle-même une prestation luxueuse, dont seules les firmes multinationales opérant quotidiennement de grands volumes de produits différents sont capables d'en amortir l'investissement.

FIGURE 1 - ÉVOLUTION DES COÛTS D'UN SYSTÈME



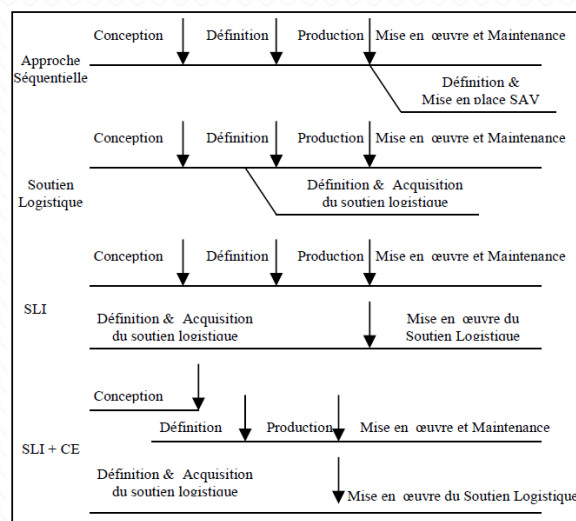
Source : Delsaut-Furon, S., Trentesaux, D., & Tahon, C. (2000). Le Soutien Logistique Integre Pour La Conception De Systemes Surs De Fonctionnement. *Academia*. p. 3

FIGURE 2 - INCIDENCE D'UNE MODIFICATION SUR LES COÛTS



Source : Primor, Y., & Fender, M. (2008). *Logistique*. (5ème éd.). Dunod. p. 4

SCHEMA 6 - SCHEMA COMPARATIF DES PROCESSUS DE CONCEPTION



Source : Delsaut-Furon, S., Trentesaux, D., & Tahon, C. (1999). Soutien Logistique Intégré et Méthodologie de conception. *Researchgate*. p. 2

On peut toujours trouver de la nourriture en territoire ennemi, mais on ne peut pas y trouver la pièce mécanique de remplacement d'un char conçu uniquement aux Etats-Unis, ni forcément le combustible pour le faire avancer.

Il va s'agir alors, soit d'être capable de mettre en place une organisation de lignes d'approvisionnement performante, soit de concevoir **une « logistique embarquée » capable de soutenir le système principal sur le théâtre d'opérations**. Ce sont donc les militaires qui, depuis le débarquement de Normandie en 1944, vont commencer à développer une « logistique intégrée », c'est-à-dire à penser la logistique de soutien d'un système d'arme dès lors de sa conception, ce que l'on appellera plus tard le « Soutien Logistique Intégré ».

C'est en 1960 que Mac Namara, du Département de la Défense (DoD) des Etats-Unis, se rend compte de la négligence des procédures traditionnelles de choix des systèmes d'armes qui tenaient beaucoup plus compte du prix de développement et d'achat d'un système d'armes que de son prix de mise en œuvre et de maintenance (Primor & Fender, 2008, p. 84). À l'époque, la course à l'armement en pleine guerre froide aboutissait à un développement de systèmes d'armes de plus en plus sophistiqués dans le but de surpasser l'autre bloc en potentiel de performance d'armement, mais cela aboutissait aussi par ailleurs à un accroissement des coûts d'emploi et de maintenance de ces armements sous couvert d'une doctrine du « quoi qu'il en coûte ».

C'est donc Mac Namara qui fera introduire l'idée de procédures pour étudier les conditions de soutien et d'opération des systèmes militaires dès leur conception dans le but de les comparer par rapport à leur coût de cycle de vie total (Life Cycle Cost), donnant naissance bien plus tard en 1974 au Soutien Logistique Intégré et à la norme MIL STD 1388, qui fait référence « d'état de l'art » du SLI encore aujourd'hui. La réflexion essentielle étant que la majorité des coûts d'un système complexe sont **déjà engagés au moment où on en lance la production** et que **toute modification à ce stade engendrerait une avalanche de surcoûts**, d'où l'intérêt de prendre en compte le soutien logistique avant ces engagements de coûts.

Ainsi, aujourd'hui, le Soutien Logistique Intégré consiste :

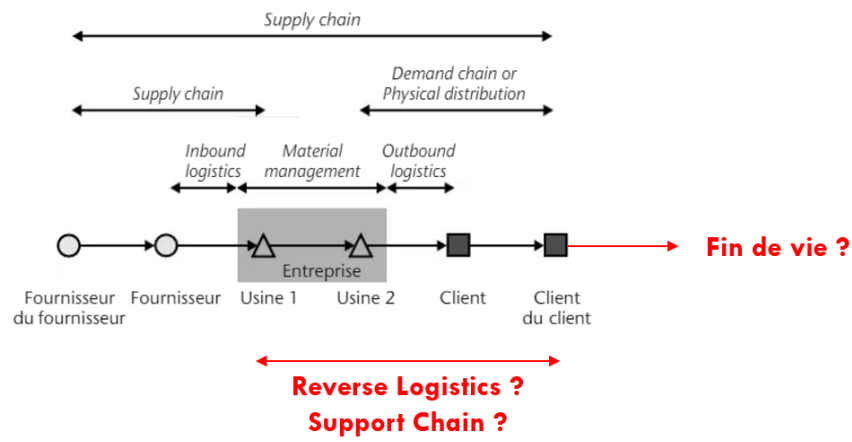
« à permettre aux différents métiers de la logistique de collaborer à la conception d'un système avec comme objectif d'optimiser le rapport disponibilité opérationnelle / coût global de possession, en considérant les exigences des utilisateurs et les exigences du soutien, d'assurer l'intégration des différents éléments de soutien (équipement de test et de soutien, rechange . . .), dès la phase de conception, et de considérer globalement le système incluant à la fois le produit principal et son système de soutien »^A.

La logistique de soutien est donc une prestation assez particulière, puisqu'elle s'oppose particulièrement à la logistique des flux (approvisionnement, production, distribution) qui constitue la colonne vertébrale de la Supply Chain. En effet, le Supply Chain Management a plus tendance à vouloir coordonner et mutualiser les activités logistiques de produits hétérogènes pour réduire les coûts tandis que le Soutien Logistique Intégré, par essence, cherche à concevoir des activités logistiques adaptées et différenciées selon le produit pour mieux le soutenir et réduire les coûts de son usage.

C'est en ce sens que nous estimons que la logistique de soutien occupe une place bien à part de la Supply Chain, voire même qu'elle n'en fait pas partie intégrante, puisqu'elles diffèrent de par leur nature, leurs objectifs et leurs méthodes. En effet, quand on se réfère aux définitions de la Supply Chain de divers théoriciens, on ne voit nulle part la logistique de soutien, Remy Le Moigne omettra même l'existence de la Reverse Logistics dans sa première édition sur le Supply Chain Management (2013), ce qu'il finira par corriger dans sa 2^{ème} édition de 2017.

[A] Delsaut-Furon, S., Trentesaux, D., & Tahon, C. (1999). *Soutien Logistique Intégré et Méthodologie de conception*. Researchgate. p. 1

SCHÉMA 7 - OÙ EST LA « SUPPORT CHAIN » ?



Source : Modification de Julien Deroubaix d'après Schéma repéré dans l'ouvrage : Le Moigne, R. (2017). Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente (2ème éd.), Dunod. p. 14

Cependant, ceci est peut-être amené à changer, tout comme le concept de Supply Chain a unifié logistique de production et logistique de distribution, on pourrait voir apparaître un nouveau concept qui élargirait le périmètre des Supply Chain bien après l'acquisition finale des produits, sous l'impulsion notamment d'une prise de conscience économique des coûts que représente la Reverse logistics, une prise de conscience environnementale que représente la gestion de fin de vie des produits et une prise de conscience marchande de la clientèle qui commence à exiger des supports techniques, des SAV et des services logistiques durant toute la vie d'usage du produit.

4) SYSTÈMES & COMPLEXITÉ

Ce sont probablement les définitions qui nous donneront le plus de fil à retordre, tant le terme de « système » est mobilisé à peu près partout (et parfois à mauvais escient)^A, touche à toutes les disciplines de savoir et peut-être sujet à de vifs débats tant il existe de définitions différentes connexes à des théorisations systémiques nouvelles. Nous pouvons citer notamment Edgar Morin qui par une approche systémique qui lui est propre, et usant alors de multiples néologismes, tente de théoriser la complexité et promeut une certaine pensée complexe¹³ pour comprendre la complexité, arguant alors que l'on avait trop bien appris à séparer les connaissances plutôt qu'à les relier (besoin de transdisciplinarité au lieu d'une segmentation des disciplines philosophiques, scientifiques, mathématiques, sociologiques, ...).

Cette théorisation d'Edgar Morin est critiquée et pour illustrer notamment les débats qui existent autour de la systémique complexe, nous nous permettons de citer un extrait de l'œuvre de Jacques Printz, qui en est l'un de ses détracteurs :

« Il est vrai que lorsque l'on examine froidement, sans esprit polémique, le jargon introduit par Edgar Morin, on a un sentiment de nausée tant l'inflation verbale et la combinatoire de mots creux s'y donnent libre cours. « Fumeux » auraient dit nos professeurs ! Créer des néologismes chaque fois que l'on croit avoir découvert quelque chose d'original n'a jamais expliqué quoi que ce soit, ni résolu le moindre problème. On sait cela depuis G. Ockham et son principe de sobriété, pour le moins ! »^B

Ainsi par souci d'honnêteté de positionnement et aussi parce que nous avons eu beaucoup de mal à comprendre la « dialogique » d'Edgar Morin, les définitions suivantes se baseront en grande partie sur le travail de Jacques Printz.

Les différents ouvrages traitant de systèmes, partent fréquemment d'une définition donnée par celui qui est considéré comme l'un des pères fondateurs de la science des systèmes, Jay Wright Forrester :

« Un système désigne un groupe de parties qui fonctionnent ensemble dans un but commun. Un système peut inclure des personnes ainsi que des parties physiques. »^C

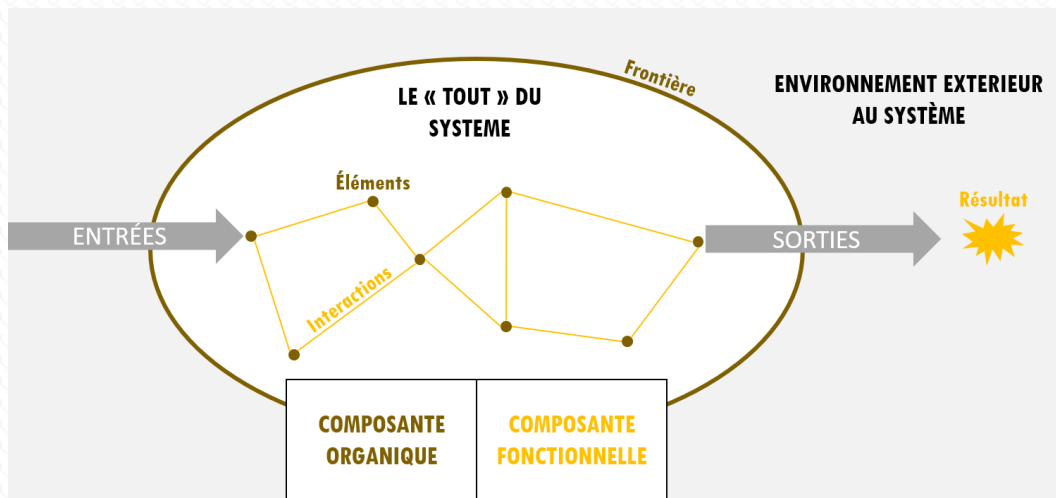
Un système est donc un « tout » qui a une **composante organique** (ce qui le constitue) et une **composante fonctionnelle** (ce qu'il fait).

[A] Il faut notamment se rappeler qu'en France, avant la présidentielle de 2017, il y eut dans les discours politiques une mode à la critique d'un « système », une sorte de mouvance insaisissable et oppressive, facilement attaquable et difficilement défendable puisqu'on ne ciblait véritablement personne, mais un tout englobant. Cela déviait alors souvent à des théories complotistes qui, on ne peut pas dire qu'elles se soient atténuées encore aujourd'hui. C'est donc un sujet sensible.

[B] Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 24

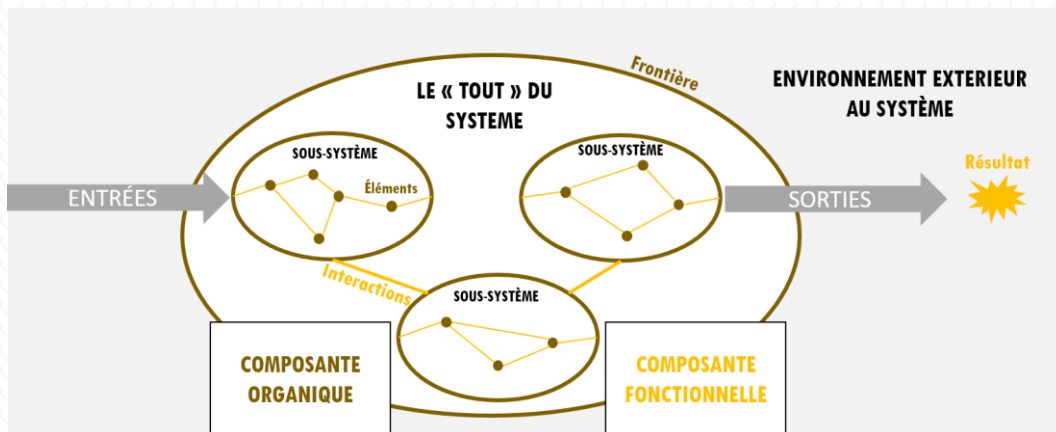
[C] Pegasus Communications Inc., 1990 et 1999 (originaux en 1961-1968)

SCHÉMA 8 - DÉFINITION D'UN SYSTÈME



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

SCHÉMA 9 - DÉFINITION D'UN SYSTÈME DE SYSTÈMES



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

IMAGE 1 : LE PRINCIPE D'ÉMERGENCE



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Ainsi, il faut garder de cette définition 3 principes essentiels qui sont indissociables de la nature d'un système :

- Un système est un ensemble d'éléments constitutifs, qu'ils soient physiques ou biologiques, il y a donc une **frontière** avec un environnement extérieur.
- Les éléments du système interagissent ou communiquent entre eux et donnent un résultat, une **interaction** avec l'environnement du système.
- Des **fonctions** définissent le comportement des éléments constitutifs du système, leur organisation et leurs interactions.

Les éléments constitutifs du système peuvent être eux aussi des systèmes que nous appelons alors des **sous-systèmes**, mais il doit y avoir au bout d'un moment une finalité dans cette **architecture de système de systèmes** avec des éléments qui ne sont pas eux-mêmes des systèmes, sinon la définition devient circulaire et inopérable dans le réel.

Ces 3 principes amènent le système à produire un résultat attendu dans un **principe d'émergence**, et c'est ce qui va le différencier d'un simple groupement d'éléments sans but précis, que l'on ne pourra pas alors qualifier de système. En effet, comme le souligne Jacques Printz, chacun de ces éléments a une fonction bien précise et est correctement organisé selon un agencement, un plan de construction explicite imaginé par un concepteur. Cet agencement permet d'obtenir un résultat avec des **propriétés émergentes**, c'est-à-dire ce que l'objet fait de nouveau et qui n'aurait pas pu être obtenu avec un seul de ses éléments (J. Printz, 2019). On fait souvent référence ici à une expression assez célèbre pour expliquer l'émergence : « **Le tout est plus que la somme de ses parties** », mais il faut penser aussi que ce tout peut être moindre que la somme, comme le signale le physicien P. Anderson qui préfère utiliser l'expression « More is different ». La systémique est donc une **doctrine de pensée** (un point de vue) fondamentalement opposée au Réductionnisme^A et qui relève plus de l'Holisme^B.

Il y a une **irréductibilité** des propriétés émergentes du système qui aboutit à ce que le système ait besoin que chacun de ses éléments fonctionne correctement selon la fonction qui leur a été attribuée. Cette nécessité soumet ainsi le système à des défaillances certaines dues à l'usure du temps et de fonctionnement de ses composants, voire à des erreurs qui l'endommageront. Un système a donc une durée de vie, largement dépendant des choix de sa conception, mais aussi des conditions auxquelles il sera soumis durant son cycle de vie. Il faut donc rajouter à notre définition du système une **composante évolutive** (ce qu'il devient)^C.

[A] Pensée qui tend à expliquer un phénomène en le divisant en sous-parties, on fait la somme des notions plus fondamentales pour expliquer une notion plus complexe à saisir : « le tout est égal à la somme de ses parties », Descartes et Aristote sont véritablement ceux à l'origine de ce mode de pensée « séparer les choses pour mieux comprendre le sujet ». Mais c'est Putnam et Oppenheim qui en sont les chefs de file les plus extrêmes, ils proposent une classification hiérarchique à six niveaux des objets scientifiques à étudier (Groupes sociaux, Organismes multicellulaires, cellules, molécules, atomes, particules élémentaires). Chaque niveau permettant alors d'expliquer la totalité englobante supérieure

[B] Pensée qui tend à expliquer un phénomène comme étant un ensemble indivisible, il suffit de connaître le tout pour comprendre l'ensemble de ses propriétés, souvent non-déductibles de celles de ses éléments. On considère ainsi qu'un être est fortement déterminé par le tout dont il fait partie, Émile Durkheim en est l'un des principaux chefs de file avec sa théorie du « fait social » qui explique que le comportement d'un individu est socialement déterminé non pas par son individualité, mais par la société qui exerce une contrainte sur lui et lui fait intérioriser des règles à respecter.

[C] Nous nous devons de faire remarquer ici, qu'au travers de nos exemples, nous glissons de manière volontaire vers une définition des systèmes industriels qui constituent, en vérité, le périmètre de recherche de notre mémoire. Ces définitions nous permettent ainsi une certaine cohérence avec notre sujet, mais il existe des systèmes biologiques qui feraient prendre à cette définition une certaine variante. En effet, nous pouvons considérer le corps humain comme un système qui a besoin que chacun de ses éléments fonctionne correctement selon la fonction qui leur a été attribuée. Il est soumis à des défaillances certaines dues à l'usure du temps et de fonctionnement de ses parties, voire à des actions externes qui l'endommageront. Il a donc une composante évolutive avec une durée de vie déterminée par les conditions auxquelles il aura été soumis durant son cycle de vie, mais peut-on parler de choix de conception ? La conception a bien entendu un poids non-négligeable sur l'évolution du corps humain, nous le savons, mais parler de choix de conception reviendrait en quelque sorte à tomber dans une forme d'argumentaire sur l'eugénisme, ce que nous voulons bien entendu éviter pour des raisons éthiques.

IMAGE 2 - LE RISQUE ET LES EFFETS DE DÉPENDANCE DES PROPRIÉTÉS ÉMERGENTES



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

IMAGE 3 - LE CARACTÈRE IMPRÉVISIBLE DE LA COMPLEXITÉ



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Ainsi, dans un cadre où l'utilisateur souhaite un contrat de service lui permettant de profiter d'un système le plus longtemps possible, les concepteurs vont faire appel à la discipline de la **Sûreté de fonctionnement** qu'on considère comme la « science des défaillances et des pannes » et qui va étudier l'aptitude d'un système à remplir une ou plusieurs fonctions dans des conditions données. Ils cherchent alors à connaître la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité d'un système, des données permettant à l'utilisateur de placer sa confiance dans le service que le système lui assure.

Dans la mesure où nous souhaiterions créer de plus en plus des systèmes qui fonctionnent durablement, l'ingénierie des systèmes se doit ainsi d'appréhender leur **complexité** pour comprendre les origines des pannes et des défaillances et accroître ainsi leur maintenabilité. *Mais qu'est-ce que la complexité ?*

D'après Edgar Morin, le mot complexe vient du latin *complexus* qui signifie « **ce qui est tissé ensemble** ». Robin Fortin y rajoute lui le mot latin *complexi* qui signifie « **ce qui contient des éléments différents** » (Fortin, 2005, p. 16). En d'autres termes, la complexité est un tissu d'éléments hétérogènes inséparablement associés, et plus il y aurait d'éléments différents et d'interactions diverses et plus ce serait complexe.

Néanmoins, cette définition est insuffisante, car elle convient autant au complexe qu'au compliqué, or ce n'est pas la même chose. Selon le Think Tank « Réseau Intelligence de la Complexité » (RIC – MCX-APC) :

« C'est l'imprévisibilité potentielle (non calculable a priori) des comportements de ce système, liée en particulier à la récursivité qui affecte le fonctionnement de ses composants ("en fonctionnant ils se transforment"), suscitant des phénomènes d'émergence certes intelligibles, mais non toujours prévisibles. »^A

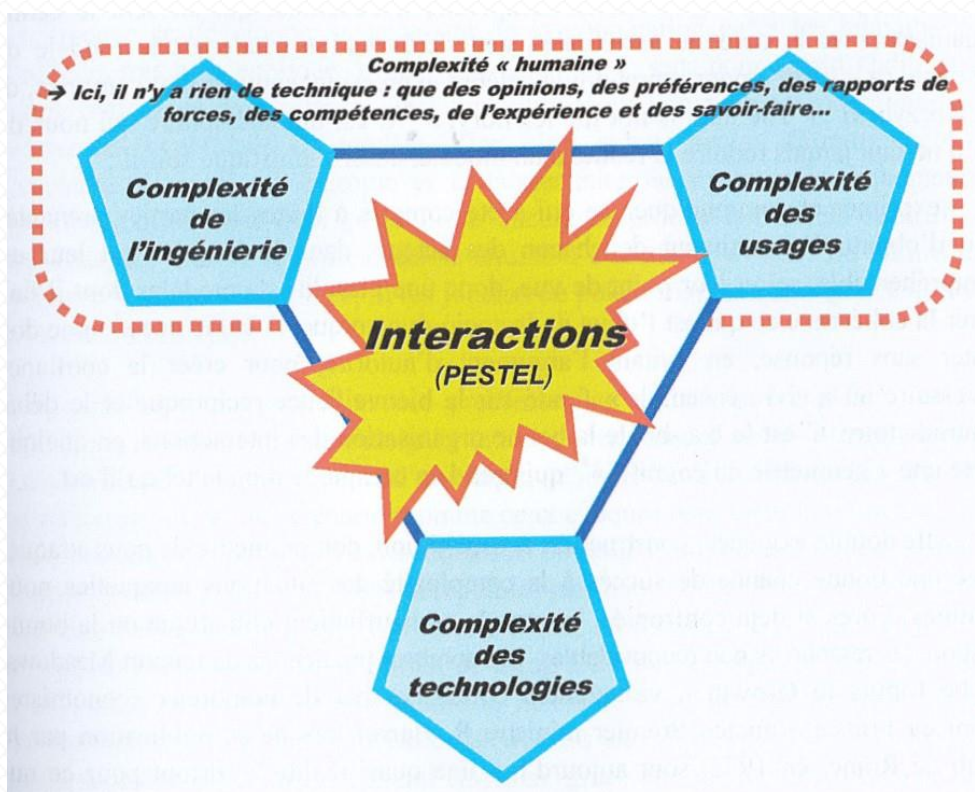
Il faut donc rajouter à la définition de la complexité un caractère **imprévisible** du système dû à sa non-linéarité de résultat, mais aussi et surtout à l'évolution de son état dans le temps, dégradé par des erreurs et par ce que l'on appelle les « bruits » de l'environnement.

Ainsi, pour éviter la défaillance d'un système, il faut réduire les erreurs et les bruits qui nuisent à son fonctionnement, *mais la question est de savoir comment ? Peut-on prévoir l'imprévisibilité de l'environnement ? Un orage qui touche l'avion ? Un oiseau qui rentre dans un moteur ?* La réponse est non. On ne peut pas prévoir ce qui peut fluctuer en fonction de l'environnement, car là, nous ne sommes plus dans la complexité, mais face à des forces chaotiques imprédictibles.

[A] En d'autres termes, on peut prédire le comportement d'un système compliqué, en y passant du temps même si cela peut être fastidieux, car les éléments et interrelations sont dénombrables et calculables. Dans le cas de la complexité, on ne peut pas prédire le comportement d'un système dynamique caractérisé par de nombreuses interactions et rétroactions entre ses éléments et avec les éléments extérieurs au système, autrement dit l'environnement. Un exemple concret de cette différence, qui pourrait rappeler certains souvenirs à la plupart d'entre nous, pourrait être un simple exercice scolaire de mécanique où on considérerait certaines forces extérieures comme négligeables pour pouvoir calculer la trajectoire d'un objet. Il s'agissait alors de rendre compliqué un problème qui était complexe à l'origine en enlevant les forces chaotiques du vent imprévisibles.

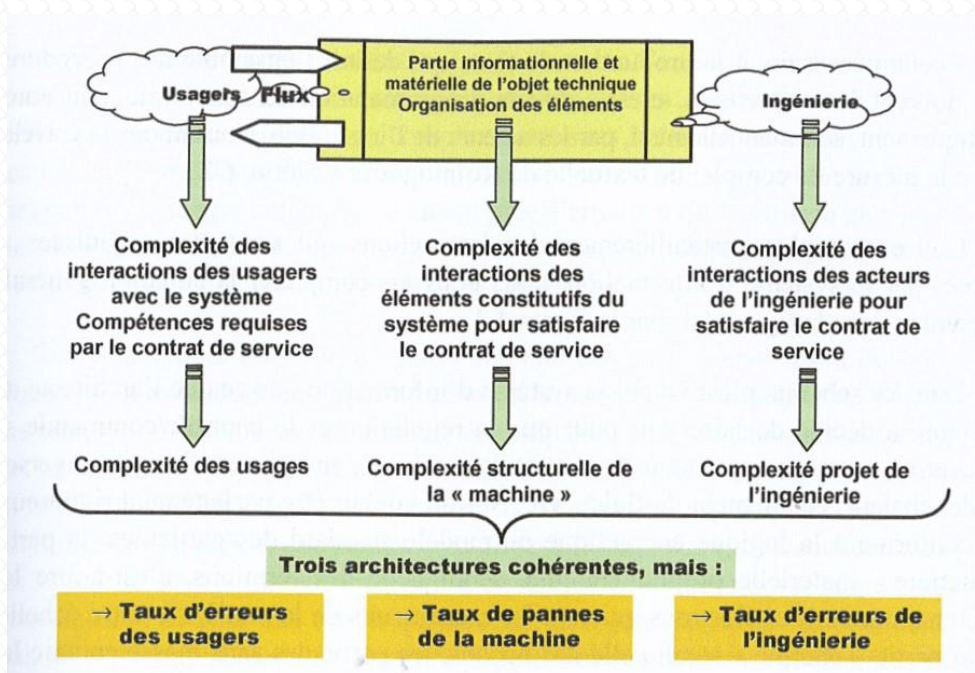
Lexique de termes de la complexité. (s. d.). Réseau Intelligence de la Complexité. Consulté le 14 Juin 2021, à l'adresse <https://www.intelligence-complexite.org/qui-sommes-nous/lexique-complexite>

SCHÉMA 10 - LES TROIS COMPLEXITÉS DE LA NOUVELLE INGÉNIERIE



Source : Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 33

SCHÉMA 11 - ARCHITECTURE DES COMPLEXITÉS



Source : Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 103

L'ingénierie de conception des systèmes doit donc appréhender la complexité de ce qui est nécessaire au système pour fonctionner, compte tenu de l'invariance du contrat de service qu'il doit opérer. Jacques Printz distingue 3 catégories :

- La **complexité des technologies**, qui ne cessent de se développer et d'intégrer des milliards et des milliards de composants. Nous allons vers l'infiniment grand, l'infiniment petit et l'infiniment rapide et cela représente donc un potentiel infiniment plus grand de pannes de la machine.
- La **complexité des usages**, qui se doit d'être simplifiée d'autant plus si l'utilisateur est peu formé. En effet, l'utilisateur est « limité », sa compréhension ne s'accroît pas dans les infinis comme la technologie, il ne fait donc que jouer avec les entrées/sorties de la machine, sans en comprendre forcément le fonctionnement interne, ce qui peut évidemment mener à des erreurs d'usages.
- La **complexité de l'ingénierie**, qui au même titre que celle des usages, est un système humain « limité ». En effet, face à la croissance des effectifs dédiés aux grands projets d'ingénierie de plus en plus transdisciplinaires, il n'y a plus un seul ingénieur qui maîtrise l'entièreté du fonctionnement du système, ils ont donc besoin d'interagir pour concevoir, ce qui peut donner lieu à des erreurs de conception.

Ainsi, nous voyons bien l'intérêt pour l'ingénierie de conception d'appréhender les trois architectures de complexités. En effet, **chacune des architectures amène à la genèse de défaillances pour le système**. Nous parlerons d'erreurs des usagers dans le cas d'un usage trop complexe, d'erreurs de l'ingénierie dans le cas de projets d'ingénierie trop complexe, et de pannes de la machine dans le cas d'une structure de machine trop complexe. Maîtriser ces trois complexités revient donc à maîtriser le taux de défaillance du système en conditions opérationnelles (exception faite donc des aléas de l'environnement), et c'est là l'un des enjeux majeurs des études de Soutien Logistique Intégré.

C'est donc sur cet aspect que nous cherchons à jauger la pertinence économique des études de Soutien Logistique Intégré, entre **bénéfices apportés** en termes de gain en disponibilité du système et **coûts supplémentaires** de développement.

PROBLÉMATIQUE

Le Soutien Logistique Intégré est-il voué à rester une prestation de luxe du Supply Chain Management ?



Questions intermédiaires :

- *Le SLI a-t-il un réel intérêt ?*
- *Qui peut se permettre de l'employer ?*
- *Dans quelles mesures ?*
- *Quels sont les facteurs bloquants à son emploi ?*
- *Y a-t-il des succès économiques grâce au SLI ?*
- *Le SLI peut-il permettre une plus grande compétitivité de l'offre des entreprises ?*
- *Quelles conjonctures économiques et sociétales peuvent favoriser son emploi ?*
- *Aura-t-on réellement besoin du SLI à l'avenir ?*



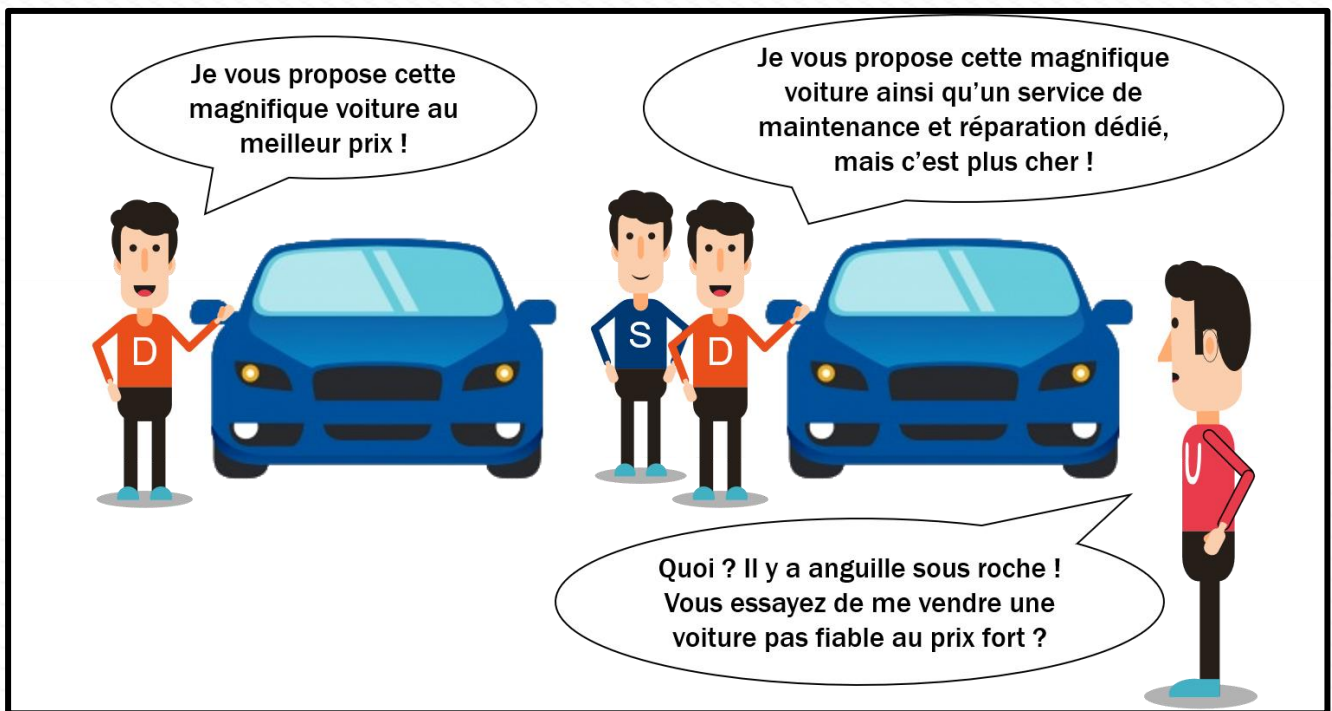
Cette illustration représente un premier groupe de personnages que l'on peut assimiler à une équipe dédiée aux études de Soutien Logistique, ainsi qu'un autre personnage à droite de l'image représentant un producteur qui semble avoir des petits soucis pour signer ses papiers, par manque de stylo en état de marche. L'équipe chargée des études de soutien lui annonce alors que les études sont terminées et qu'il n'y aura plus de problèmes de stylo non-fonctionnels à l'avenir grâce à eux, mais

le producteur, à la vue de tous les effectifs qu'il a fallu pour réaliser ces études et donc des coûts associés au temps passé, il se dit finalement qu'il aurait mieux valu juste en commander un neuf, ça lui aurait coûté moins cher.

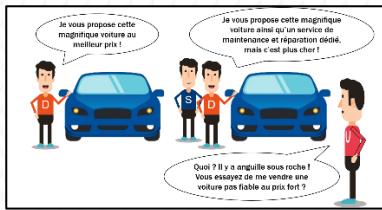
Cette image illustre bien ainsi notre problématique dans le sens que, la démarche des études de soutien représentant un coût significatif, le SLI peut représenter un coût que tout le monde ne peut pas s'offrir. Tout comme le Supply Chain Management nécessite de grands volumes pour y trouver tout son intérêt, la démarche du SLI nécessite en plus un enjeu suffisamment important pour justifier son emploi, ainsi qu'un équipement suffisamment à forte valeur pour écarter l'idée d'un simple remplacement via la Supply Chain. Car en effet, et c'est l'autre aspect majeur de la compréhension de cette image, la Supply Chain revêt plus le rôle d'un concurrent que d'un partenaire pour la « Support Chain ».

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

PARTIE 1



**LE SLI, UNE PRESTATION MÉCONNUE,
PEU VALORISÉE ET PEU VALORISABLE
DANS LES CONDITIONS RÉGLEMENTAIRES
ACTUELLES DES MARCHÉS**



Cette illustration représente deux distributeurs d'automobiles que l'on pourrait assimiler à des concessionnaires, l'un d'eux est accompagné d'un spécialiste du soutien. Nous pouvons voir aussi un client, à priori futur usager d'automobile, en effet, il semble en chercher une. Le distributeur, seul, lui propose une voiture au meilleur prix, tandis que le distributeur accompagné lui propose une voiture avec en plus un service de soutien en maintenance et réparation, mais forcément le prix ne peut être à

priori que plus élevé par rapport à la première offre. Le client devient alors suspicieux envers cette dernière, se disant que si la voiture nécessite un service de réparation, c'est qu'elle ne doit pas être très fiable et doit souvent tomber en panne.

Au-delà de l'exagération de la scène, l'idée derrière cette illustration est de montrer la relative difficulté à justifier l'emploi et le prix d'un service de soutien à un système, car en effet, cette justification repose sur des promesses de défaillance à venir pas toujours prédictibles. Or, dans l'absolu, l'usager peut se dire qu'il n'a qu'à être prudent dans sa conduite pour ne pas devoir nécessiter de tels services de soutien et en faire ainsi l'économie, sauf si bien sûr le problème ne vient pas de lui, mais de la voiture, et dans ce cas-là, cela constitue un terrible aveu de manque de fiabilité de la voiture de la part du distributeur. Cet élément stratégique de la représentation que l'on se fait de la fiabilité d'un système est d'autant plus vrai dans un marché de l'automobile où le mythe de la « Deutsche Qualität » a, pendant longtemps, largement participé au succès des constructeurs allemands considérés comme plus fiables, et y participe encore aujourd'hui.

Cette image illustre bien donc cette première partie où nous allons voir la difficulté qu'il y a, à valoriser le soutien logistique, et d'autant plus lorsque le critère du prix est un élément fort du processus de décision d'acquisition du client.

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Nous l'avons vu en introduction, le Soutien Logistique est une prestation bien à part de la Supply Chain, tant dans leurs objectifs que dans leurs méthodes qui peuvent paraître contradictoires, mais aussi et surtout dans la résultante de leur contrat de service qui se concurrencent l'un l'autre, le Soutien Logistique inhibant le besoin de la Supply Chain et la Supply Chain inhibant l'intérêt du Soutien Logistique. C'est donc sur ce constat que cette première partie tentera de trouver précisément les freins au déploiement de la prestation du SLI au travers d'une étude de cas dans le secteur du BTP, portant sur un Appel d'Offre Public d'un service étatique français, en l'occurrence la DSNA^A, une branche de la DGAC^B, qui est chargée de réglementer et de superviser la sécurité aérienne, et qui a besoin du SLI pour assurer ses activités. L'analyse du cahier des charges client, des réponses de prestataires, ainsi que du regard des différentes parties prenantes en matière de soutien logistique nous permettra d'apporter de premiers éléments de réponses à notre problématique.

[A] Direction des Services de la Navigation Aérienne
[B] Direction Générale de l'Aviation Civile

I. Qu'est-ce que le Soutien Logistique Intégré précisément ?

Mais tout d'abord, avant d'analyser cet appel d'offres, un éclaircissement conceptuel et terminologique du SLI s'impose, car en effet, c'est une prestation assez technique faisant appel à la fois à un savoir-faire logistique spécifique, ainsi qu'à une connaissance de l'ingénierie de conception des équipements. Il s'agit pour ainsi dire de bien connaître le sujet en théorie afin d'en évaluer la mesure de son emploi sur le terrain.

A. Éclaircissement conceptuel d'une approche séquencée au double enjeu : disponibilité opérationnelle et maîtrise du coût global

Afin de mieux appréhender ce sujet technique, nous avons réalisé une planche de Bande Dessinée représentant une histoire personnelle et réelle, portant sur la mise au rebut d'un système qui n'est plus fonctionnel. Cette histoire n'est pas un cas isolé puisqu'elle se vérifie bien dans les chiffres :

« En France, le taux de 6,9 kg/hab./an de DEEE collectés représente environ 450 000 tonnes, alors que la mise sur le marché est estimée à environ 1 600 000 tonnes »

(J-B. Bahers, I. Capurso, C. Gossart, 2015, données issues du rapport de Remedia)

Ainsi, chaque année, un nombre non-négligeable de déchets d'équipement électrique et électronique (DEEE) sont jetés à leur fin de vie, sans être réparés ou recyclés. Nous tenterons donc par la même occasion de comprendre ce phénomène au travers de la lecture de cette planche.

Nous proposons donc 3 niveaux de lecture progressifs de cette planche (à la case, à la bande, à la Planche)^A, permettant de saisir pas à pas les concepts, les enjeux et les problématiques du Soutien Logistique.

[A] Pour rappel des termes d'une BD :

La case désigne le cadre où on place le dessin et le texte représentant une scène de l'histoire.

La bande désigne la succession de plusieurs cases qui prennent toute la largeur de la planche.

La planche désigne la page illustrée.

IMAGE 4 - BANDE DESSINÉE DU SOUTIEN LOGISTIQUE



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

1. 1^{er} Niveau de lecture factuel à la case : Les éléments du Soutien Logistique

1^{ère} Case (La Défaillance) : La scène s'ouvre dans une cuisine où manifestement, un lave-vaisselle est en train de fonctionner mais il émet un bruit inhabituel, voir inquiétant. On voit aussi la présence d'une personne, certainement le propriétaire et usager du lave-vaisselle, qui semble perplexe.

2^{ème} Case (L'Usager) : Ici on nous montre l'utilisateur en train d'essayer de résoudre le problème. Sans doute, a-t-il inspecté l'intérieur de la machine pour vérifier que rien ne bloquait les mécanismes, puis il tente de reprogrammer le démarrage de la machine à l'aide des boutons disponibles dont il a l'habitude d'utiliser.

3^{ème} Case (Les Compétences Techniques de l'Usager) : Ensuite, on peut voir que malheureusement, la machine émet toujours le même bruit inquiétant, ce qui a le don d'agacer l'utilisateur qui ne semble pas comprendre ce qui se passe.

4^{ème} Case (Le Soutien Technique Externe) : A partir de là, l'utilisateur semble furieux. Il relâche sa colère en frappant contre la machine, ce qui n'aide sans doute pas à résoudre le problème. Une deuxième personne est présente, probablement la femme de l'utilisateur, elle essaie de l'interrompre tout en argumentant qu'il faut simplement faire appel à une tierce personne pour réparer la machine. La réponse ne se fait pas attendre, et il semblerait que pour l'utilisateur, cela reviendrait plus cher de faire réparer que d'en racheter un neuf.

5^{ème} Case (Le Soutien Technique Interne) : La suite de la scène de ménage montre alors les deux utilisateurs en train de transporter le lave-vaisselle, pour visiblement le sortir de la maison, ce qui ne semble pas être une mince affaire au vu du probable poids lourd de la machine nécessitant ainsi la manutention des deux utilisateurs.

6^{ème} Case (La Proximité de la Logistique de Récupération) : On peut ainsi voir nos 2 protagonistes venir déposer la machine au bord de la route, en face de leur maison, pour s'en débarrasser. Un troisième protagoniste entre alors en scène, il s'agit certainement d'un voisin, il demande s'il peut récupérer la machine. Le propriétaire du lave-vaisselle accepte, bien content de pouvoir s'en débarrasser si facilement.

7^{ème} Case (Les Moyens Logistiques de Récupération) : On nous montre alors le voisin en train de récupérer et transporter le lave-vaisselle jusqu'à sa maison, à l'aide d'un outil, un diable.

8^{ème} Case (Les Compétences & Moyens Techniques d'Évaluation de la Défaillance) : La scène se poursuit dans le garage/atelier du voisin. On y voit le nouveau propriétaire en train de tester et analyser le problème de la machine. Il tient dans sa main un livre de bricolage qui l'aide à mieux comprendre le problème, et il possède de nombreux outils dans son atelier pour lui permettre d'examiner l'équipement défaillant.

9^{ème} Case (Les Compétences & Moyens Techniques de Réparation, la Logistique des Pièces Détachées) : On peut voir alors le voisin en train d'essayer de réparer le lave-vaisselle. À l'aide d'outils de son atelier, il semble ouvrir la face arrière de la machine et ainsi bricoler les mécanismes jusqu'alors inaccessibles aux utilisateurs. Au second plan, on peut voir une pièce détachée, correspondant à une pompe de vidange qui peut éventuellement venir se substituer à celle d'origine de la machine si celle-ci constitue la source du problème.

10^{ème} Case (La Logistique de Redistribution) : La scène suivante montre la cuisine du voisin avec le lave-vaisselle réparé et fonctionnant normalement, il a en effet été déplacé du garage vers son nouveau lieu d'usage par le voisin.

11^{ème} Case (Le Client Final) : Enfin, la dernière scène nous montre le salon du voisin. On peut voir celui-ci en train de se reposer, fatigué de sa journée, mais il est aujourd'hui le nouveau propriétaire d'un lave-vaisselle acquis à moindre frais.

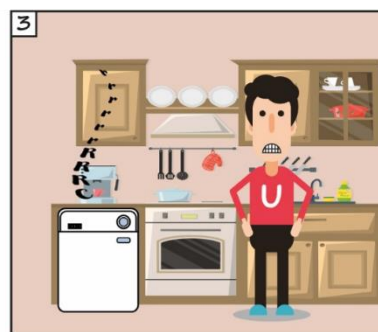
IMAGE 5 - 1^{ÈRE} BANDE : L'USAGE



1^{ère} Case : La Défaillance



2^{ème} Case : L'Usager



3^{ème} Case : Les Compétences Techniques de l'Usager

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

IMAGE 6 - 2^{ÈME} BANDE : LE SOUTIEN TECHNIQUE



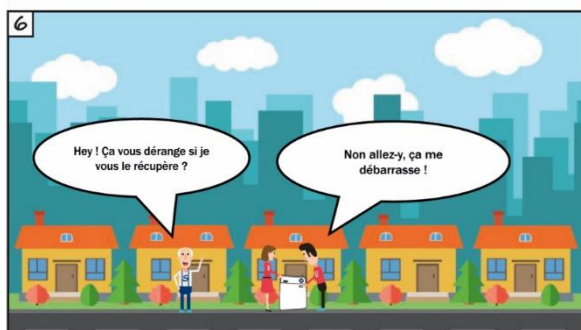
4^{ème} Case : Le Soutien Technique Externe



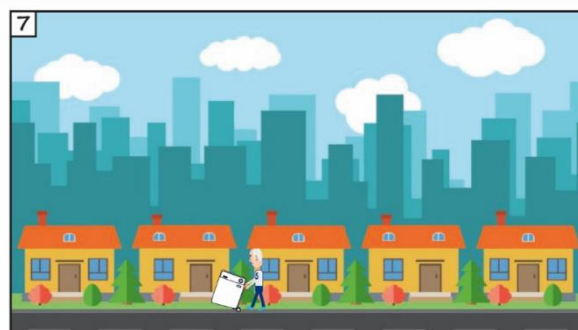
5^{ème} Case : Le Soutien Technique Interne

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

IMAGE 7 - 3^{ÈME} BANDE : LA LOGISTIQUE DE RÉCUPÉRATION



6^{ème} Case : La Proximité de la Logistique de Récupération



7^{ème} Case : Les Moyens Logistiques de Récupération

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

2. 2^{ème} Niveau de lecture par bandes : Les phases du Soutien Logistique

1^{ère} Bande (L'Usage) : Nous revenons donc à la première bande se constituant des trois premières cases. Elles ont toutes les trois en commun le fait de représenter la relation Usager/Système. En effet, dans le cas d'une défaillance du système, ou autrement dit ici le lave-vaisselle, celui qui est en première ligne de front, c'est l'utilisateur. Ainsi, la résolution du problème technique peut passer par une intervention de l'utilisateur, ne coûtant seulement que le temps passé par l'utilisateur à résoudre le problème. Cependant, la réussite de cette résolution dépend du **savoir-faire technique de l'utilisateur** et du **degré de complexité du système**. Moins l'utilisateur est compétent et moins la réussite de la réparation à ce stade sera possible. De même, plus le système sera complexe et moins l'utilisateur sera capable de résoudre le problème tout seul.

2^{ème} Bande (Le Soutien Technique) : Lors de la première bande, l'utilisateur était tout seul. La deuxième bande, constituée de la 4^{ème} et 5^{ème} Case, montre le stade où l'utilisateur reçoit un éventuel support technique, qu'il soit externe ou interne. En effet, lorsque l'utilisateur n'arrive pas à résoudre le problème seul, la solution est d'appeler à l'aide et de faire venir un expert pour résoudre la défaillance. Cependant, comme l'utilisateur le dit si bien, faire venir un réparateur peut coûter cher, que ce soit à cause du coût du déplacement, du taux horaire salarial du réparateur ou encore des charges fixes de son entreprise. Ainsi, il faut que **le système ait suffisamment de valeur** pour motiver l'amortissement du coût d'une intervention externe. Autrement, un simple remplacement est plus intéressant. La 5^{ème} Case permet de mettre en exergue la fréquente situation de pauvreté technique de l'environnement final du système, en termes d'outils de maintenance, d'outils de système d'information, qui sont des immobilisations corporelles sur lesquels les organisations amortissent l'investissement lorsqu'ils ont plusieurs systèmes à maintenir, à maintenir ou à gérer informatiquement. Ainsi, il faut aussi **suffisamment de quantité de systèmes à forte valeur** pour motiver l'amortissement du coût d'outils de soutien technique interne à l'environnement du système.

3^{ème} Bande (La logistique de Récupération) : La troisième bande représente le stade où le système nécessite un soutien logistique, soit dans le but d'être récupéré puis réparé, soit dans le but d'être débarrassé. C'est donc un stade qui est atteint si la phase du Soutien Technique a été un échec ou s'il n'était pas suffisamment économiquement parlant, de le mobiliser. Dans ce dernier cas, c'est donc le service public de collecte des déchets, en l'occurrence ici les DEEE, qui va s'occuper de débarrasser l'utilisateur. Dans l'autre cas, c'est le service logistique du Support Technique du Système qui va venir le récupérer. Et dans les deux cas, c'est un transport spécifique dédié qui va être attribué, car le moment de la défaillance n'étant pas facilement prévisible, il est donc difficile de massifier les flux de ce transport (il est rare que tous les lave-vaisselles d'un même quartier tombent en panne en même temps). La 6^{ème} case nous montre donc l'une des problématiques majeures du Soutien Logistique, celui de la nécessaire **proximité de la logistique de récupération** à l'environnement final du système. En effet, il faut savoir placer le curseur entre le besoin de délais minimaux du Soutien Logistique et le coût que le client est prêt à payer pour soutenir son système, car plus on va rapprocher les infrastructures de récupération et de maintenance pour garantir des délais minimaux et plus on va devoir multiplier le nombre de ces infrastructures afin de couvrir efficacement l'ensemble des clients concernés, ce qui augmente significativement la charge des coûts dédiés. De même, la 7^{ème} case montre la nécessité de **moyens logistiques de récupération spécifiques**, les dimensions des systèmes pouvant être déformés ou fragilisés durant leur vie, le gerbage n'est pas toujours possible et plus largement, les systèmes à forte valeur concernés peuvent souvent relever des charges lourdes, voir hors-normes, ce qui complexifie encore plus la tâche de mutualisation des frais de transport et de stockage.

IMAGE 8 - 4^{ÈME} BANDE : LA LOGISTIQUE DE RÉPARATION



8^{ème} Case : Compétences & Moyens Techniques d'Évaluation de la Défaillance



9^{ème} Case : Compétences & Moyens techniques de Réparation, Logistique des Pièces Détachées

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

IMAGE 9 - 5^{ÈME} BANDE : LA LOGISTIQUE DE REDISTRIBUTION



10^{ème} Case : La Logistique de Redistribution



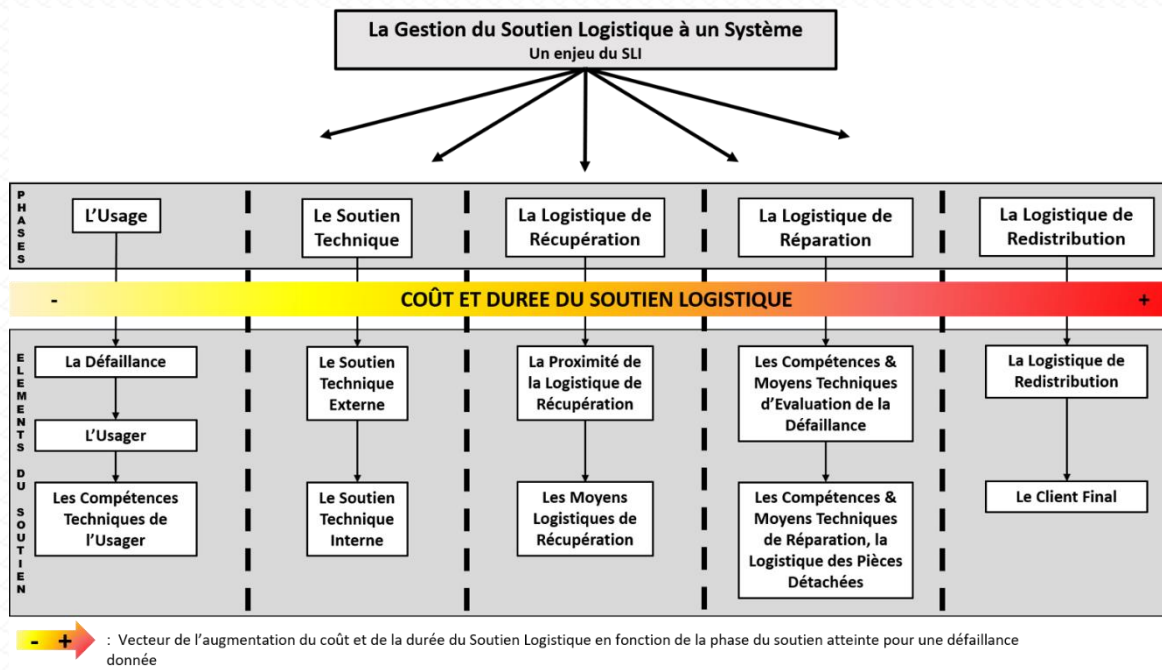
11^{ème} Case : Le Client Final

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

4^{ème} Bande (La Logistique de Réparation) : La quatrième bande représente le stade de la réparation et de la logistique des pièces détachées. Cette phase de réparation en site externe à l'environnement du système n'a d'intérêt que si la tentative de réparation sur place a échoué ou est impossible, car elle suppose préalablement des coûts de récupération logistique, ainsi que des charges fixes d'un entrepôt ou d'un atelier d'accueil des systèmes à réparer. Autrement dit, cette phase concerne donc les **réparations complexes** nécessitant des compétences d'ingénierie à haute qualification et des moyens techniques de test spécifiques qu'il peut donc être intéressant de centraliser pour mutualiser et amortir leur coût. Il en est de même pour les compétences et moyens techniques de réparation, représentés dans la 9^{ème} case. En effet, la défaillance d'un système ne veut pas forcément dire que l'ensemble des composants d'un système sont défectueux, mais que **tout ou partie est défaillant**. Plus concrètement, c'est pour cela que l'on va mobiliser une phase de test, pour repérer le ou les composants défectueux et procéder soit à leur réparation, soit à leur remplacement via des pièces détachées. Cela suppose que toute une logistique de pièce détachée soit mise en place afin de garantir **une disponibilité immédiate de la pièce de rechange** et diminuer le temps de stockage du système à réparer.

5^{ème} Bande (La Logistique de Redistribution) : Enfin, la cinquième bande représente le stade de la logistique de redistribution. Une fois réparé, il faut redistribuer le système à son environnement final, ce qui peut faire l'objet encore **d'un transport spécifique** ou d'une mutualisation du transport avec le circuit de distribution classique. En l'occurrence, ici, l'environnement final a changé puisque le client final n'est plus le même. En effet, le facteur du client final est important puisqu'il peut être source d'économies de coûts de redistribution via une re massification des flux dans le marché de l'occasion et du reconditionné, mais aussi de gain de récupération de valeur via une marge bénéficiaire sur le prix de revente d'occasion. Ainsi, la marge est d'autant plus importante que les **coûts de retraitement logistiques précédents sont minimisés** et que le **prix de revente ne soit pas trop déprécié**. Cette récupération de valeur pose alors la question de la **rémunération du client initial**, qui en l'occurrence ici, est nulle.

SCHÉMA 12 - SYNTHÈSE CONCEPTUELLE DE LA BD



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

3. 3^{ème} Niveau de lecture à la planche : La gestion du Soutien Logistique, un enjeu du SLI

L'analyse de la planche entière nous permet ainsi de détailler les différentes étapes du Soutien Logistique présentées dans la BD au travers de ce schéma synthétique. L'idée étant que **plus un système défaillant nécessite de stades de soutien** (Ici, il y en a donc 5), et **plus le coût du Soutien logistique va être important par effet d'accumulation**. Ainsi, un des enjeux du Soutien Logistique Intégré est de minimiser le coût du Soutien Logistique à un système en définissant et en élaborant le système de soutien en amont de la phase de sa conception. Plus concrètement, l'analyse du Soutien Logistique Intégré va s'appuyer sur les études de Sûreté de Fonctionnement pour définir les défaillances probables du système et ainsi adapter le système de soutien à ces défaillances, assurant une maintenance optimisée à moindre coût.

En fait, il va s'agir ici de **découpler les capacités de résolution du problème dès les premiers stades du Soutien Logistique** pour minimiser l'effet d'accumulation de coûts. Pour cela, on va d'abord découpler les capacités de l'utilisateur, par des formations techniques, lui permettant d'assurer des opérations de maintenance de niveau 1 ou 2, par une assistance en documentation technique, tels que les manuels utilisateurs ou les procédures de maintenance. Aussi, les coûts du Soutien Technique peuvent être optimisés, toujours dans une idée de découpler les capacités de l'exploitant du système, sur le Soutien Technique Externe, une assistance téléphonique peut-être mise en place, permettant à un expert de guider l'utilisateur dans la maintenance de son système et évitant ainsi les frais de déplacement. Sur le Soutien Technique Interne, le système peut se voir intégrer un système d'information électronique, disposant de signalétiques, et permettant d'informer sur les défaillances techniques et les procédures de maintenance à suivre, la phase de test peut-être ainsi intégrée au système. Enfin, afin d'éviter de trop fréquentes et trop coûteuses récupérations logistiques, une logistique de pièces de rechange peut être mise en place au plus près du système, sur site. Ainsi, lorsqu'un technicien de maintenance se déplace sur site, il peut effectuer une réparation et remplacer un composant défectueux.

Le Soutien Logistique Intégré répond donc à un **besoin de disponibilité opérationnelle des systèmes tout en maîtrisant le coût global^A**. Il s'agit de faire durer le plus longtemps possible des systèmes et d'en amortir les coûts de maintenance, de telle façon qu'il soit plus intéressant de réparer et de réutiliser, plutôt que de jeter et de racheter du neuf.

[A] Le coût global ou coût du cycle de vie d'un produit se compose du coût d'acquisition, du coût de propriété (coût énergétique, frais d'exploitation, frais de protection, coûts de maintenance et réparation, coûts d'arrêt de production, coûts liés à l'environnement) et du coût de démantèlement.

B. Une discipline centrée autour de la sûreté de fonctionnement des systèmes

Nous l'avons donc vu dans la partie précédente, le soutien logistique répond à une problématique initiale de défaillance d'un système. En effet, nous avons pu voir que selon la complexité de la défaillance, plusieurs stades de soutien pouvaient se mettre en place, allant de la simple intervention de l'utilisateur/exploitant du système jusqu'au retour chez le constructeur ou l'expert réparateur, entrant alors dans le domaine de **la logistique inverse**. Nous avons pu en conclure que dans un souci de maîtrise des coûts et de maximisation de la disponibilité opérationnelle du système, une bonne gestion du soutien logistique se devait donc d'augmenter significativement la **capacité de résolution de la défaillance dès lors des premiers stades du Soutien**, c'est-à-dire lorsque le système est encore dans son environnement d'usage. Il ne s'agit alors non pas seulement de **fournir un système « clés en main »**, mais aussi de **fournir les services de soutien associés à ce système**.

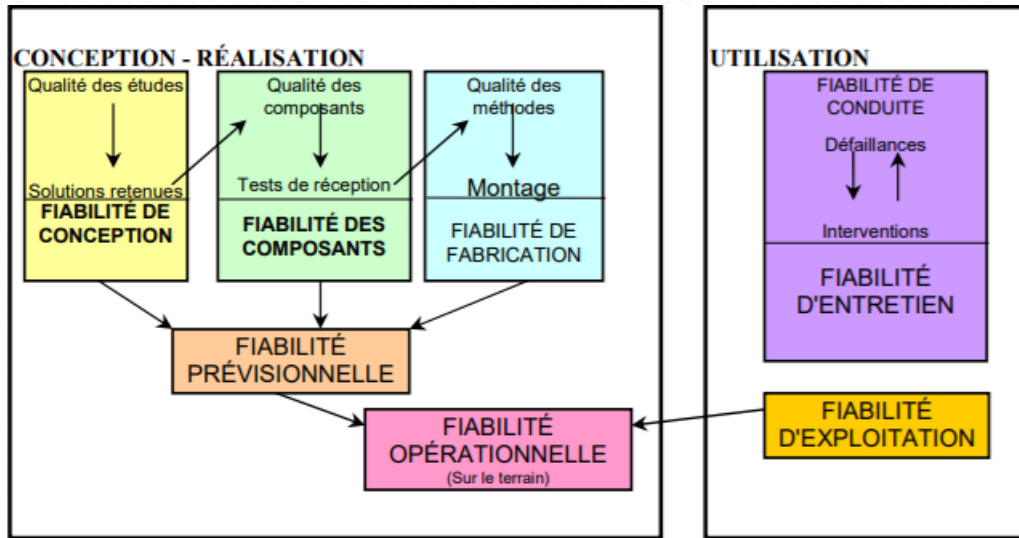
Ainsi quels sont donc ces services de soutien qui permettent de mieux gérer les cas de défaillance d'un système et comment en évaluons-nous la nécessité et le dimensionnement de leur emploi ?

La norme Afnor X 50-420 « Management des systèmes – Soutien logistique intégré », qui reprend la MIL STD 1388-1, énumère 10 éléments du SLI à prendre en compte pour mettre en place un système de soutien intégré à l'environnement du système :

- **Préparation et structuration de la maintenance** : qui correspond au « plan de maintenance » progressivement établi selon les besoins clients initiaux et les défaillances d'usage, on parle alors de maintenance préventive ou de maintenance corrective.
- **Approvisionnement et ravitaillement** : notamment de pièces de rechange, ou de consommables. Il s'agit alors de prévoir des stocks disponibles suffisamment importants pour ne jamais tomber à court. On pourrait parler ici d'une « Support Chain ».
- **Équipement de test et de soutien** : soit tous les outillages, les moyens de test et de diagnostic permettant d'exécuter les tâches de maintenance appropriées.
- **Conditionnement, stockage, manutention et aptitude au transport** : soit tous les moyens de protection, de manutention et de stockage des systèmes, mais aussi et surtout leur transportabilité.
- **Personnel** : qui correspond aux besoins quantitatifs et qualitatifs en personnel pour le soutien, mais aussi à la prise en compte du facteur humain dans le soutien et la mise en œuvre des équipements.
- **Formation** : soit l'ensemble des moyens nécessaires (humains et matériels, documentations, supports de cours, aides pédagogiques) pour former le personnel (usagers ou exploitants) en ce qui concerne la mise en service du système, ainsi que de sa maintenance en activité tout au long de sa durée de vie.
- **Installations de soutien, y compris les infrastructures** : qui correspondent aux immeubles et équipements fixes ou mobiles nécessaires à la bonne exécution de la maintenance, soit des entrepôts, des ateliers, des moyens d'hébergement pour le personnel.
- **Données techniques** : soit toutes les données qui renseignent sur l'identité technique du système et qui servent à sa maîtrise et à sa maintenance tout au long de sa durée de vie. Il s'agit de documentations techniques, de plans, fiches procédures, etc.
- **Ressources informatiques** : soit l'ensemble des moyens informatiques, matériels et logiciels, nécessaires à la mise en œuvre de la maintenance du système et de ses logiciels intégrés.
- **Interface de conception** : qui correspond à l'influence des caractéristiques physiques du système ou plus concrètement l'influence de son « Design » sur sa disponibilité et sa maintenabilité.

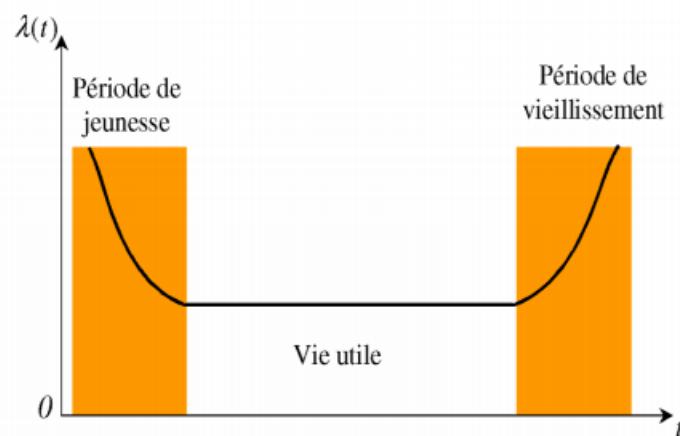
La prise en compte de chacun de ces éléments dans une étude préalable de SLI permet alors de développer un système de soutien adapté à l'équipement, toutefois, *il reste la question de savoir comment dimensionner un tel système de soutien ? En outre, quels moyens informatiques, logistiques, moyens de formation, de personnel, de maintenance doit-on mettre en place pour soutenir tel système de façon à ce qu'il réponde aux exigences clients sans pour autant qu'il ne coûte trop cher ?*

SCHEMA 13 - LES FACTEURS DE LA FIABILITÉ



Source : Graczyk. (2010). Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité. BTS ATI 2, Université d'Angers. p. 1

FIGURE 3 - LA COURBE EN BAINNOIRE DE LA FIABILITÉ



Source : Ahmed Bellaouar. (2013-2014). Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité. Faculté des Sciences de la Technologie, Département Génie des Transports, Université de Constantine 1. p. 11

Savoir dimensionner un tel système de soutien relève d'un travail d'orfèvre pour le moins capital. En effet, un **sous-dimensionnement** engendrerait une **insatisfaction du client** qui ne peut pas exploiter son système comme il l'aurait souhaité, et un **surdimensionnement**, s'il peut paraître plus prudent, peut constituer une **barrière tarifaire** à l'usage même d'un système de soutien. Ainsi la nécessaire précision du dimensionnement du système de soutien amène les parties prenantes à **mieux maîtriser le risque**. En effet, *quelle est la probabilité que mon système soit défaillant (Aléa) ? Quelle est la réaction (vulnérabilité) de mon système face à cette défaillance ? Quelle est l'ampleur des fonctionnalités (enjeux) du système qui sont compromises ?*

Évaluer au préalable toutes les réponses à ces questions peut permettre de mieux dimensionner le système de soutien réellement nécessaire. Les études du Soutien Logistique vont donc faire appel aux études de Sûreté de Fonctionnement, précédemment évoquées en introduction, qui constituent le point d'ancrage de l'Analyse du Soutien Logistique.

En effet, ces études vont consister à s'assurer qu'un composant ou un système accomplisse les missions pour lesquelles il a été conçu tout au long de son cycle de vie, et ce dans des conditions de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de sécurité prédéfinies avant la phase de sa conception.

1. La Fiabilité

Selon la norme NF EN 13306 qui définit la terminologie de la Maintenance,

« La Fiabilité est l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné. » (AFNOR, 2010)

Autrement dit, un système est d'autant plus fiable s'il subit un minimum d'arrêts pour pannes.

Cette fiabilité se décide lors des étapes de conception et de réalisation du système qui, selon la qualité des études de conception, le choix des composants et la qualité des méthodes, va déterminer une **fiabilité prévisionnelle**. Mais elle se décide aussi plus en aval du cycle de vie du système, lorsqu'il est utilisé, en effet la conduite d'usage et la qualité de l'entretien va faire varier sa **fiabilité d'exploitation**. Ainsi, si on a l'ensemble de ces données, on peut calculer la **fiabilité opérationnelle** du système.

Néanmoins, la fiabilité du système n'est pas constante dans le temps, il subit un « stade de jeunesse » à ses débuts où l'on peut assister à un nombre anormalement élevé de défaillances dues à de mauvais choix lors de la phase de conception et de réalisation. Et il subit un « stade d'obsolescence » en fin de vie où l'on peut assister à un nombre élevé de défaillances dues à l'usure du système qui peut être amplifié par un mauvais usage, ou dues à l'obsolescence annoncée au préalable par les choix de conception. Ainsi, la fiabilité d'un système est seulement calculable lors de sa période de maturité via la formule du MTBF (Mean Time Between Failure)

$$\text{MTBF} = \text{Temps de bon fonctionnement} / \text{Nombre de Pannes}$$

Comment améliorer cette fiabilité ?

- Le montage des composants en parallèle plutôt qu'en série :

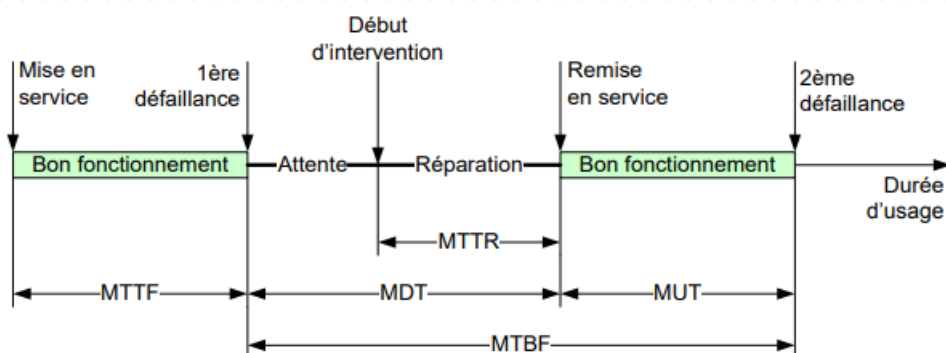
Lorsqu'on monte plusieurs composants en série, si l'un d'eux est défaillant, tous les autres sont impactés et sont en arrêt de production. La fiabilité totale du système devient alors le produit des fiabilités de chaque composant, soit par exemple : $0,98 \times 0,93 \times 0,95 \times 0,91 = 0,7879$ (Soit une fiabilité globale de 79%). Les composants ont ainsi beau être très fiable, le système, lui, l'est de moins en moins, plus le nombre de composants en série est important.

TABLEAU 1 - LES FACTEURS DE LA MAINTENABILITÉ

Facteurs liés à l' EQUIPEMENT	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR	Facteurs liés à la MAINTENANCE
<ul style="list-style-type: none"> - documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> - conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange 	<ul style="list-style-type: none"> - préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

Source : Graczyk. (2010). Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité. BTS AT1 2, Université d'Angers. p. 2

SCHÉMA 14 - LES ÉTATS SUCCESSIFS D'UN SYSTÈME RÉPARABLE



Source : Ahmed Bellaouar. (2013-2014). Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité. Faculté des Sciences de la Technologie, Département Génie des Transports, Université de Constantine 1. p. 82

Lorsqu'on monte plusieurs composants en parallèle, le système est en arrêt de production uniquement quand tous les composants tombent en panne en même temps. La fiabilité totale du système devient cette probabilité, soit par exemple : $1 - (1 - 0,75)^2 = 0,9375$ (Soit une fiabilité globale de 94%).

- L'identification et la redondance des composants dits « critiques » :

Si chaque composant est nécessaire au fonctionnement du système, certains le sont plus que d'autres. En effet, on parle de criticité lorsque le fonctionnement et/ou l'intégrité du système est directement engagée par un dysfonctionnement du dit composant critique. Il s'agit alors de doubler, tripler ou plus encore le composant dans un montage en parallèle pour augmenter significativement la fiabilité. Lorsque l'un tombe en panne, l'autre prend le relais, et ainsi de suite.

- La mise en place d'une maintenance préventive :

Si les défaillances de jeunesse du système sont, par nature, difficilement prévisibles, les défaillances de vieillesse, d'usure et de fatigue, peuvent, elles, être connues dès la conception du système et lors des procédures d'entretien. Ainsi, faire intervenir une maintenance programmée qui remplace les composants vieillissants avant que le système n'entre dans son stade d'obsolescence, peut permettre de rallonger la durée de vie du système et d'éviter un grand nombre de défaillances plutôt que de les subir.

2. La Maintenabilité

Encore selon la même norme NF EN 13306,

« Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, **la Maintenabilité** est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits. » (AFNOR, 2010)

Autrement dit, un système est **d'autant plus maintenable qu'il est réparable**.

Ainsi, la maintenabilité d'un système ne dépend pas uniquement des caractéristiques de l'équipement en lui-même, mais aussi de l'organisation des moyens humains et matériels dédiés à sa maintenance, autrement dit le service technique interne à l'environnement système. Enfin, on peut aussi noter le rôle non-négligeable du constructeur qui au travers de ses choix de conception, de l'efficacité de son support technique externe à l'environnement système et de sa politique en matière de pièce de rechange va venir, ou pas, décupler le potentiel de maintenabilité du système. La maintenabilité d'un système est alors calculable sur la base de la rapidité des temps d'intervention de maintenance lors d'une défaillance, qu'on appelle le MTTR (Mean Time To Repair).

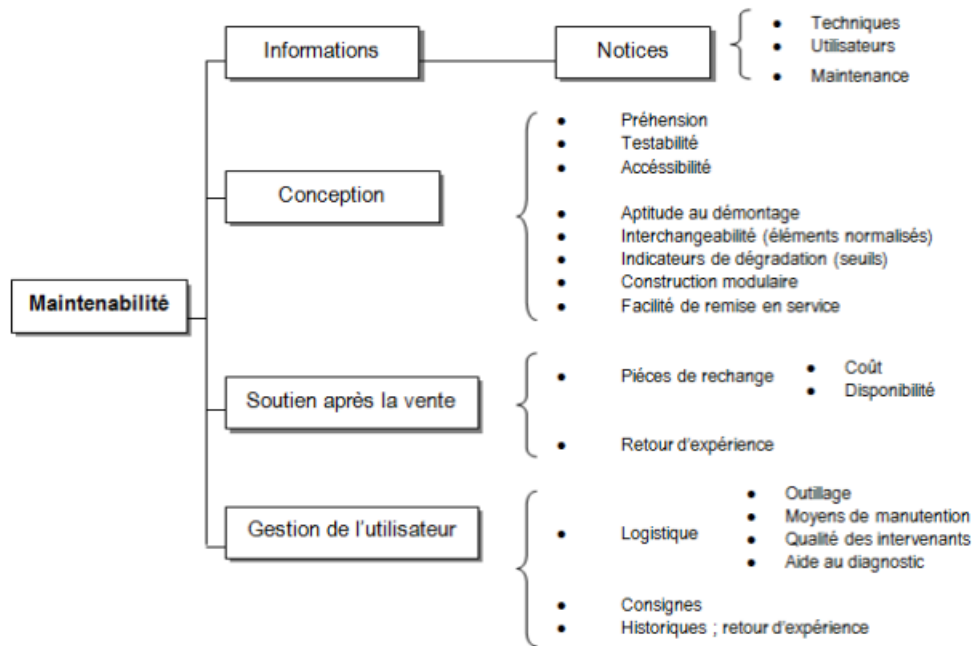
$$\text{MTTR} = \text{Somme des Temps d'intervention pour } n \text{ pannes} / \text{Nombre de Pannes (n)}$$

Comment améliorer cette maintenabilité ?

- Construire une maintenabilité intrinsèque au système performante :

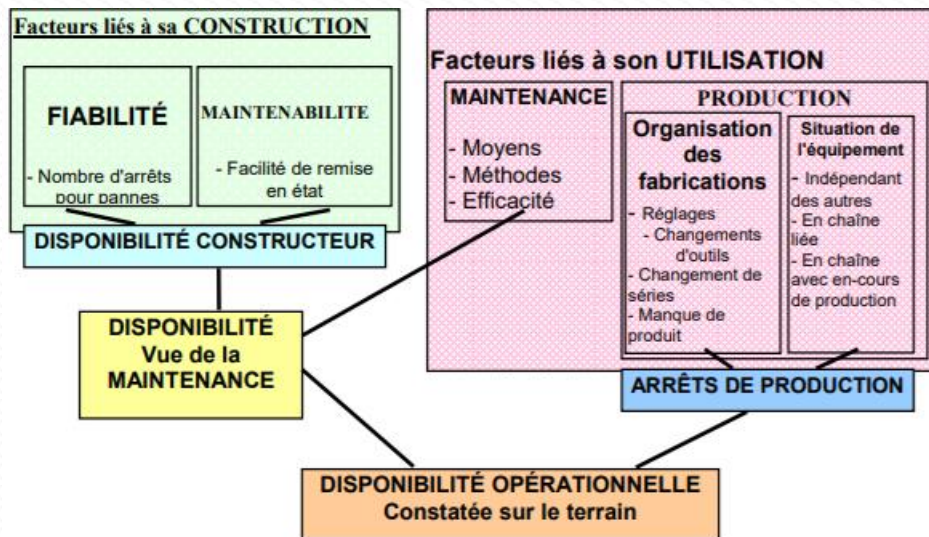
Faire des améliorations ultérieures de la maintenabilité initiale coûte cher. En effet, les coûts de maintenance sont fixés lors de la conception. Il faut donc penser à plusieurs facteurs, comme la **modularité** des sous-systèmes et leur **interchangeabilité** qui peut permettre de déléguer des tâches de maintenance à l'exploitant. La **standardisation** des systèmes facilite les interventions de maintenance, mais aussi la logistique et les process de production.

SCHÉMA 15 - AMÉLIORER LA MAINTENABILITÉ



Source : Ahmed Bellaouar. (2013-2014). Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité. Faculté des Sciences de la Technologie, Département Génie des Transports, Université de Constantine 1. p. 81

SCHÉMA 16 - LES FACTEURS DE LA DISPONIBILITÉ



Source : Graczyk. (2010). Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité. BTS ATI 2, Université d'Angers. p. 3

L'**accessibilité** des composants dans le système et leur **aptitude à être posés/déposés** accélèrent la rapidité des interventions et donc diminuent les temps d'indisponibilité de l'équipement. La **démontabilité** des composants permet de réduire le besoin en moyens et en outils de maintenance. La **déteçtabilité** réduit les temps de diagnostic.

- Élaborer un soutien logistique adapté :

L'intégration de prestations de soutien logistique accompagnant l'équipement est une démarche qui découple la maintenabilité. En effet, lors d'une défaillance, l'exploitant n'a pas mille et une questions à se poser, il sait qui appeler grâce à un service d'astreinte pour de la télémaintenance, il sait parfois lui-même quoi faire pour réparer l'équipement grâce à la formation qu'il a préalablement reçue, il sait déjà quelles sont les références des éventuelles pièces de rechange à obtenir et dans le pire des cas, un SAV a été prévu à proximité pour venir l'aider. Tout est ainsi fait pour une rapidité de maintenance qui accroît la maintenabilité.

- La mise en place d'une logistique de maintenance efficace :

Savoir réparer n'est pas tout, encore faut-il avoir les moyens pour le faire et dans un contexte où on ne peut pas prévoir toutes les défaillances, penser l'organisation de la logistique de maintenance devient un enjeu fondamental, non pas forcément pour améliorer la maintenabilité des systèmes, mais plus pour éviter d'en anéantir les efforts précédents. En effet, avoir les bons outillages, les bons moyens de manutention, les bons stocks de rechange disponibles au bon endroit, au bon moment est une composante non-négligeable à prendre en compte dans la réduction des délais de réparation.

3. La Disponibilité

Toujours selon la même norme NF EN 13306 :

La Disponibilité est l'aptitude d'un bien, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. (AFNOR, 2010)

En outre, elle dépend de la combinaison de la fiabilité et de la maintenabilité, tout en prenant en compte les capacités de la logistique de maintenance et plus largement de l'organisation des systèmes productifs aptes ou pas à fournir les approvisionnements en rechanges et en moyens de maintenance.

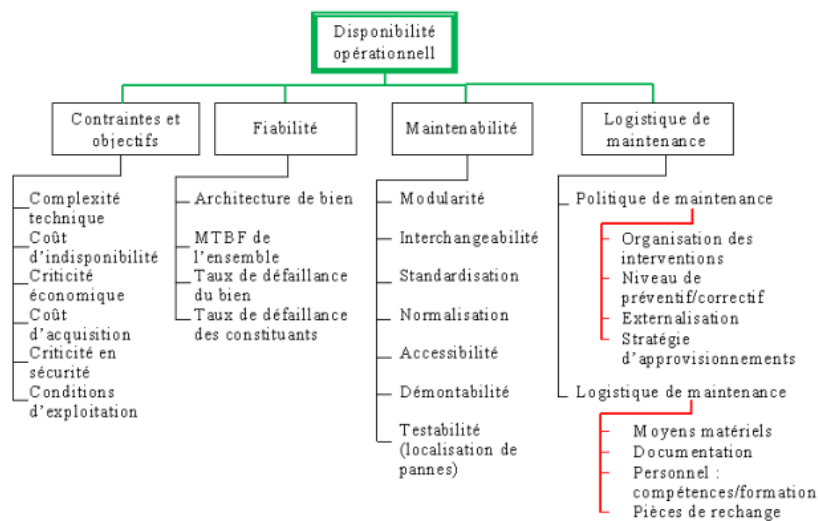
On peut donc calculer plusieurs disponibilités différentes aux périmètres variables, allant de la **disponibilité intrinsèque** (ou constructeur) à l'équipement et la **disponibilité vue de la maintenance**, jusqu'à la **disponibilité opérationnelle** constatée sur le terrain. Le principal intérêt de calculer ces différentes disponibilités est que cela nous permet de les comparer entre elles et de pouvoir situer précisément le facteur responsable d'une trop grande dégradation de la disponibilité d'un système. Si l'on en revient à notre planche de Bande Dessinée sur le Soutien Logistique, vous l'aurez compris, l'objectif du Soutien Logistique Intégré est que la disponibilité opérationnelle constatée ait le moins d'écart possible avec la disponibilité intrinsèque au système.

TABEAU 2 - CALCULER LES DISPONIBILITÉS

NATURE DES TEMPS	TEMPS TOTAL																		
	TEMPS REQUIS								TEMPS NON REQUIS										
	TEMPS EFFECTIF DE DISPONIBILITE		TEMPS D'INCAPACITE																
	TEMPS DE DISPONIBILITE			TEMPS D'INDISPONIBILITE															
SITUATIONS CORRESPONDANTES	Fonctionnement	Attente	Incapacité pour causes extérieures			Maintenance préventive	Contraintes d'exploitation		Indisponibilité après défaillance		Temps potentiel de disponibilité	Indisponibilité après défaillance							
	Matériel accomplissant la fonction requise	Matériel non sollicité	Manque alimentation énergie	Manque main d'œuvre	Manque ou saturation pièce	Pièces en amont non conformes	Maintenance préventive de niveau 1 et 2	Inspection - contrôles	Visites	Changement d'outils programmé	Changement de fabrication	Contrôle produits fabriqués	Tps de réparation (diagnostic, réparation, remise en service)	Remise en condition	Non détection	Appel à la maintenance	Approvisionnement en outillages	Approvisionnement en pièces de rechange	Non besoin de production
CALCULS DE DISPONIBILITE	Disponibilité intrinsèque : $D_i = (1) / (1 + 2)$																		
	Du point de vue maintenance : $D_m = (1) / (1 + 3)$																		
	Disponibilité opérationnelle : $D_o = (1) / (1 + 4)$																		
	Disponibilité globale : $D_g = (1) / (1 + 5)$																		
Disponibilité intrinsèque D_i	Caractérise les qualités intrinsèques d'une entité. La carence des moyens extérieurs et des moyens de maintenance ne sont pas pris en compte.																		
Disponibilité du point de vue maintenance D_m	Conforme à la définition de la norme, seule la carence des moyens de maintenance est prise en compte																		
Disponibilité opérationnelle D_o	Caractérise les conditions réelles d'exploitation et de maintenance																		
Disponibilité globale D_g	Caractérise le taux global d'utilisation de l'entité																		

Source : Graczyk. (2010). Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité. BTS ATI 2, Université d'Angers. p. 4

SCHÉMA 17 - ANALYSER ET AMÉLIORER LA DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE



Source : Ahmed Bellaouar. (2013-2014). Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité. Faculté des Sciences de la Technologie, Département Génie des Transports, Université de Constantine 1. p. 98

$$\text{Disponibilité} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

Comment améliorer cette disponibilité ?

- Allonger la MTBF, donc améliorer la fiabilité
- Réduire la MTTR, donc améliorer la maintenance
- Optimiser la logistique de maintenance, donc réduire le temps d'indisponibilité après défaillance
- Simplifier les contraintes techniques et les conditions d'exploitation, donc réduire le temps d'incapacité pour cause externe ou interne
- Ou tout simplement réduire ses ambitions en matière de disponibilité exigée, donc plus de temps non requis mobilisable pour réaliser des tâches de maintenance ou d'entretien

C. La méthodologie de l'Analyse du Soutien Logistique (ASL), une démarche chronophage et difficile d'accès ?

Avec les études de sûreté de fonctionnement, nous avons pu voir les principaux concepts (fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité, ...) qui définissent les **caractéristiques de « soutenabilité »** d'un système. Nous avons vu que ces caractéristiques sont déterminées lors de la phase de conception et que pour **moduler la « soutenabilité intrinsèque »** du système, il fallait agir dès la phase de conception de ce système. Nous avons aussi pu voir les **différents éléments de soutien logistique** à mettre en place pour soutenir un tel système dit plus ou moins soutenable. Enfin, nous avons vu aussi qu'un des enjeux majeurs des études de Soutien Logistique était de savoir **bien dimensionner ce système de soutien** au système principal plus ou moins soutenable, et tout cela **par rapport à des exigences opérationnelles client** qui peuvent varier selon le profil d'emploi des systèmes concernés et l'organisation du site d'implantation de l'exploitant des systèmes.

Autrement dit, il s'agit d'analyser les **besoins fonctionnels** et **opérationnels** du client pour **adapter la conception** du bien et des services qui l'entourent, de telle façon que **l'exploitation du système soit la plus économiquement disponible**, que ce soit par la conception d'un **système plus soutenable** ou d'un **système de soutien plus performant**.

Le problème maintenant, concerne la méthode. En effet, *comment décider de la meilleure conception du système principal possible ? Comment décider du meilleur dimensionnement possible pour le système de soutien ? Comment décider s'il vaut mieux agir sur la conception plutôt que le dimensionnement et inversement, du point de vue de la performance opérationnelle la plus économique ? Comment parvenir à trouver la meilleure solution alliant des procédures de soutien optimisées et une conception optimale de soutenabilité ?*

Cette responsabilité va être celle de l'Analyse du Soutien Logistique. De nombreuses normes apportent des propositions méthodologiques pour ce faire. Celle qui fait référence d'état de l'art aujourd'hui est l'ancienne norme du Département de Défense américain, la MIL-STD-1388-1A, datant du 11 Avril 1983. Nous en avons rattaché à ce mémoire, en annexe 3, un extrait détaillant les tâches à effectuer pour faire une Analyse du Soutien Logistique. Pour chaque tâche, le document détaille leur influence sur 3 facteurs : La conception du système principal, la conception du système de soutien, les besoins en éléments logistiques. Sans tomber dans une exhaustivité excessive, en voici la trame principale traduite en français :

- **Tâche 100 : Planification et contrôle des programmes**

Objectif : Prévoir des actions formelles de planification et d'examen des programmes.

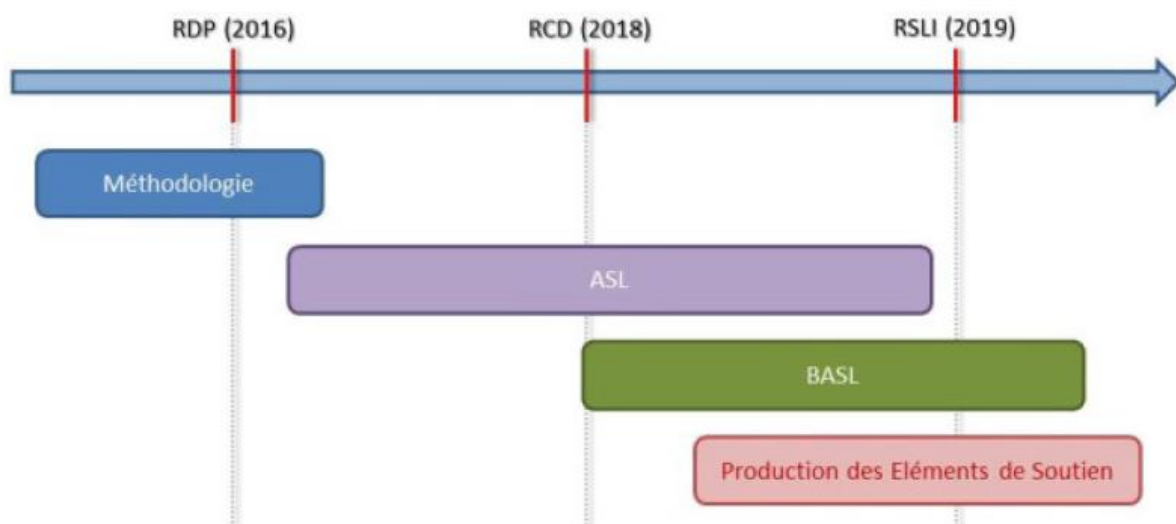
- SOUS-TÂCHE 101 : DÉVELOPPEMENT D'UNE STRATÉGIE D'ANALYSE DU SOUTIEN LOGISTIQUE PRÉCOCE
Objectif : Développer une proposition de stratégie de programme ASL à utiliser au début d'un programme d'acquisition et identifier les tâches et sous-tâches ASL qui offrent le meilleur retour sur investissement.
- SOUS-TÂCHE 102 : PLAN D'ANALYSE DU SOUTIEN LOGISTIQUE
Objectif : Développer un plan d'analyse du soutien logistique (PASL) qui identifie et intègre toutes les tâches ASL, identifie la gestion des responsabilités et des activités, et décrit l'approche pour accomplir les tâches d'analyse.
- SOUS-TÂCHE 103 : EXAMEN DES PROGRAMMES ET DES CONCEPTIONS
Objectif : Établir une exigence pour l'activité performante à planifier et prévoir un examen et un contrôle officiels des informations de conception publiées avec la participation au programme ASL de manière ponctuelle et contrôlée, et s'assurer que le programme ASL se déroule conformément aux jalons contractuels afin que la soutenabilité et les exigences de conception liées à la soutenabilité seront atteintes.

- **Tâche 200 : Définition des missions et du système de soutien**

Objectif : Établir des objectifs de soutenabilité et des objectifs de conception, de seuils et de contraintes liés à la soutenabilité par comparaison avec des systèmes existants et avec des analyses de soutenabilité, de coûts et de préparation.

- SOUS-TÂCHE 201 : ÉTUDE DES USAGES
Objectif : Identifier et documenter les facteurs de soutenabilité pertinents liés à l'utilisation prévue du nouveau système/équipement.
 - SOUS-TÂCHE 202 : NORMALISATION DU MATÉRIEL, DES LOGICIELS ET DU SYSTÈME DE SUPPORT DE LA MISSION
Objectif : Définir la soutenabilité et les contraintes de conception liées à la soutenabilité pour le nouveau système/équipement sur la base des ressources de soutien logistique existantes et planifiées qui présentent des avantages en raison des considérations de coût, de main-d'œuvre, de personnel, de préparation ou de politique de soutien, et fournir des informations sur la normalisation du matériel et des logiciels de la mission.
 - SOUS-TÂCHE 203 : ANALYSE COMPARATIVE
Objectif : Sélectionner ou développer un système de comparaison de base (SCB) représentant les caractéristiques du nouveau système/équipement pour (1) projeter les paramètres liés à la soutenabilité, porter des jugements concernant la faisabilité des nouveaux paramètres de soutenabilité du système/équipement et identifier les cibles d'amélioration, et (2) déterminer les facteurs de prise en charge, de coût et de préparation du nouveau système/équipement.
 - SOUS-TÂCHE 204 : OPPORTUNITÉS TECHNOLOGIQUES
Objectif : Identifier et évaluer les opportunités de conception pour l'amélioration des caractéristiques et des exigences de soutenabilité dans le nouveau système/équipement.
 - SOUS-TÂCHE 205 : SOUTENABILITÉ ET FACTEURS DE CONCEPTION DE SOUTENABILITÉ
Objectif : Établir (1) les caractéristiques quantitatives de soutenabilité résultant de conceptions alternatives et de concepts opérationnels, et (2) la soutenabilité et les objectifs, buts et seuils de conception liés à la soutenabilité, et les contraintes pour le nouveau système/équipement à inclure dans les documents d'approbation du programme, les spécifications du système/équipement, d'autres documents d'exigences ou des contrats, le cas échéant.
- **Tâche 300 : Préparation et évaluation des alternatives**
Objectif : Optimiser le système de soutien pour le nouvel article et développer un système qui atteint le meilleur équilibre entre le coût, le programme, les performances et la soutenabilité.
 - SOUS-TÂCHE 301 : IDENTIFICATION DES BESOINS FONCTIONNELS
Objectif : Identifier les fonctions d'exploitation, de maintenance et de soutien qui doivent être exécutées dans l'environnement prévu pour chaque alternative de système/équipement considérée, puis identifier les exigences de performance humaine pour les opérations, la maintenance et le soutien et documenter ces exigences dans un inventaire des tâches.
 - SOUS-TÂCHE 302 : SYSTÈMES DE SOUTIEN ALTERNATIFS
Objectif : Établir des alternatives viables de système de soutien pour le nouveau système/équipement pour l'évaluation, l'analyse des compromis et la détermination du meilleur système pour le développement.
 - SOUS-TÂCHE 303 : ÉVALUATION DES ALTERNATIVES ET ANALYSE DES COMPROMIS
Objectif : Déterminer la ou les alternatives de système de soutien préférées pour chaque alternative de système/équipement et participer à des compromis de système alternatifs afin de déterminer la meilleure approche (support, conception et exploitation) qui répond au besoin avec le meilleur équilibre entre coût, programme, performance, la préparation et la soutenabilité.
 - **Tâche 400 : Détermination des besoins en ressources de soutien logistique**
Objectif : Identifier les besoins en ressources de soutien logistique du nouveau système dans son ou ses environnement(s) opérationnel(s) et développer des plans pour le soutien après production.
 - SOUS-TÂCHE 401 : ANALYSE DES TÂCHES
Objectif : Analyser les tâches d'exploitation et de maintenance requises pour le nouveau système/équipement afin de :
 - Identifier les besoins en ressources de soutien logistique pour chaque tâche.
 - Identifier les besoins en ressources de soutien logistique nouveaux ou critiques.

GRAPHIQUE 1 - PHASAGE MACROSCOPIQUE DES ACTIVITÉS DU SOUTIEN DANS LE CADRE DU STANDARD S3000L



Source : ZURBUCH, K., Olivier, H., Giovannini, P., & Touitou, I. (2018, octobre). Spécification ASD S3000L : Retour d'expérience dans le cadre d'un programme complexe. Congrès Lambda Mu 21 " Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces ". p. 2

- Identifier les exigences de transportabilité.
- Identifier les besoins de soutien qui dépassent les objectifs, les seuils ou les contraintes établis.
- Fournir des données pour soutenir la participation au développement d'alternatives de conception pour réduire les coûts, optimiser les besoins en ressources de soutien logistique ou améliorer la préparation.
- Fournir des données pour la préparation des documents SLI requis (manuels techniques, programmes de formation, listes de main-d'œuvre et de personnel, etc.).

○ SOUS-TÂCHE 402 : ANALYSE DE MISE EN SERVICE PRÉCOCE

Objectif : Pour évaluer l'impact de l'introduction du nouveau système/équipement sur les systèmes existants, identifier les sources de main-d'œuvre et de personnel pour répondre aux exigences du nouveau système/équipement, déterminer l'impact de l'échec à obtenir les ressources de soutien logistique nécessaires pour le nouveau système/équipement et déterminer les besoins essentiels en ressources de soutien logistique pour un environnement de combat.

○ SOUS-TÂCHE 403 : ANALYSE DU SOUTIEN APRÈS PRODUCTION

Objectif : Analyser les exigences de soutien du cycle de vie du nouveau système/équipement avant la fermeture des lignes de production pour s'assurer que des ressources de soutien logistique adéquates seront disponibles pendant la durée de vie restante du système/équipement.

● **Tâche 500 : Évaluation de la soutenabilité**

Objectif : S'assurer que les exigences spécifiées sont respectées et les lacunes corrigées.

○ SOUS-TÂCHE 501 : TEST, ÉVALUATION ET VÉRIFICATION DE LA SOUTENABILITÉ

Objectif : Évaluer la réalisation des exigences de soutenabilité spécifiées, identifier les raisons des écarts par rapport aux projections et identifier les méthodes de correction des déficiences et d'amélioration de la préparation du système.

La réalisation de l'ensemble de ces tâches permet ensuite de constituer la Base de données de l'Analyse du Soutien Logistique (BASL) qui rassemble l'ensemble des données logistiques traitées. Ce modèle de donnée qui est lui aussi normé selon la MIL-STD-1388-2B, mais que nous jugeons inutile de présenter par soucis de cohérence dans notre argumentation, repose sur une structure applicable à toute sorte de système. Pour Stéphane Michel, Frank Weiser et Eric de Tocqueville de la société LGM^A :

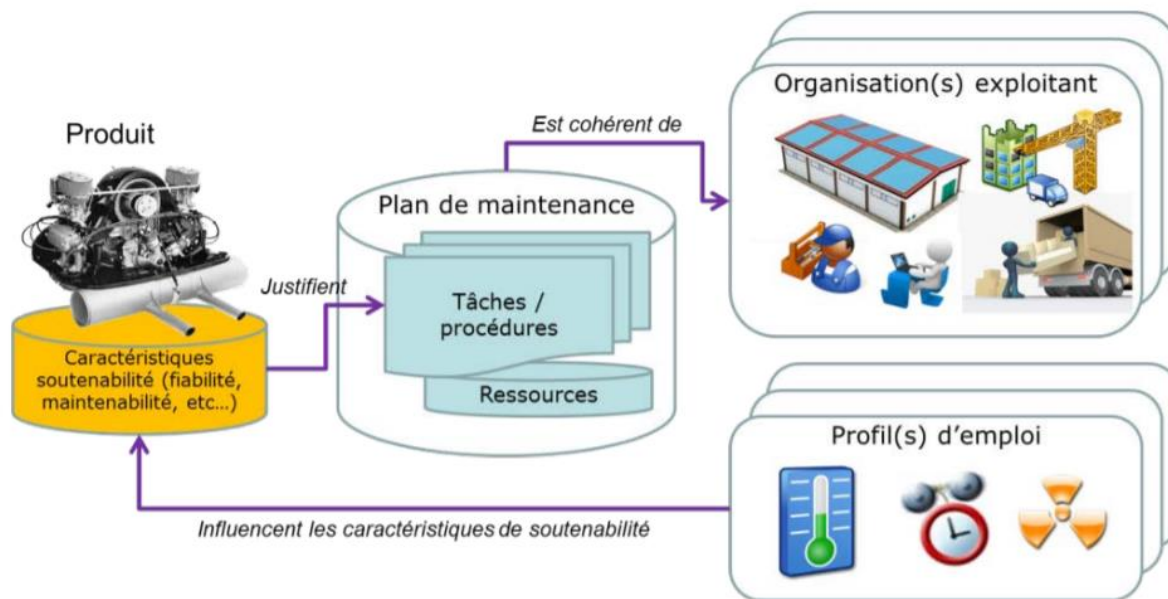
« La BASL établit une fonction de transfert entre un produit et son soutien au travers des tâches de maintenance ou des opérations logistiques à réaliser. Sur cette « colonne vertébrale » viennent ensuite se greffer les données relatives aux différents moyens de soutien (approvisionnement, documentation, qualifications des personnels, ...). Le standard est à l'origine un moyen de normaliser les échanges entre l'industriel et l'organisation en charge de soutenir le produit. Il doit de ce fait être respecté strictement pour garantir la bonne transmission des informations de soutien. »^B

Ainsi, au regard de tout ce système normatif autour de la méthodologie de l'ASL, nous comprenons aisément la difficulté qu'ont les parties prenantes à se conformer à une telle **méthodologie lourde en charge de travail et en procédures**. La méthodologie de l'ASL est une démarche séquencée et itérative, dont le nombre de retours en arrière peut s'accumuler en cascade à mesure que l'on découvre des « alternatives » plus viables. Dès lors que la volonté, voir la nécessité, d'une forte optimisation du soutien est présente dans l'équipe projet, la méthode devient vite chronophage et peut représenter des années de développement d'un processus ASL conforme, comme le montre le graphique 1 qui représente le phasage des activités de soutien du standard S3000L, une des spécifications promues par l'ASD (AeroSpace and Defence Industries) dans le cadre du développement de programme satellite.

[A] Filiale du Groupe LGM, est une société française spécialisée en ingénierie des systèmes et du soutien

[B] Michel, S., Weiser, F., de Tocqueville, E. (2014). Retours d'expérience et perspectives pour le soutien logistique intégré. (19ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement). p. 2-3

SCHÉMA 18 - DÉPENDANCE DU PLAN DE MAINTENANCE AU CONTEXTE OPÉRATIONNEL



Source : Michel, S., Weiser, F., de Tocqueville, E. (2014). Retours d'expérience et perspectives pour le soutien logistique intégré. (19ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sûreté de Fonctionnement). p. 3

L'aspect chronophage n'est pas le seul défaut de la méthode ASL. En effet, la **complexité de la gestion des bases de données informatisées** du soutien logistique dans des développements de projet où il peut y avoir une collaboration industrielle entre plusieurs acteurs, qu'ils soient en partenariat ou en sous-traitance, rend difficile d'accès la démarche de l'ASL. L'usage de la démarche nécessite donc de réels investissements en acquisition de moyens et de compétences de gestion de bases de données structurées. Des investissements qui ne sont pas toujours faciles à justifier avec le modèle de données de la norme américaine vieillissante, la MIL-STD-1388-2B.

En effet, selon le retour d'expérience de Stéphane Michel de la société LGM, le modèle de données américain présente notamment 2 défauts majeurs :

- Les données transmises à la BASL sont un référentiel applicable à un instant donné, les mises à jour de la base entraînant alors un écrasement progressif du contenu. Il est alors **très difficile de suivre différentes configurations d'un système global**. Les industriels faisant donc usage de variantes dans leurs gammes de produits pour faire des économies de coûts de développement, ou les exploitants exigeant plusieurs versions d'un même système pour répondre à des besoins particuliers, seront donc limités par la méthode ASL.
- La BASL, telle qu'elle est normalisée dans la MIL-STD-1388-2B, est une approche projet mono-contexte. En outre, le plan de maintenance élaboré, à la fin du processus ASL, n'est cohérent qu'avec l'organisation de l'exploitant pour lequel il a été conçu. La structure des données de la norme ne permettant pas de définir différentes définitions de soutien pour un même système, **l'exploitant qui souhaite user d'un système dans plusieurs contextes opérationnels sera lui aussi limité** par la méthode ASL.

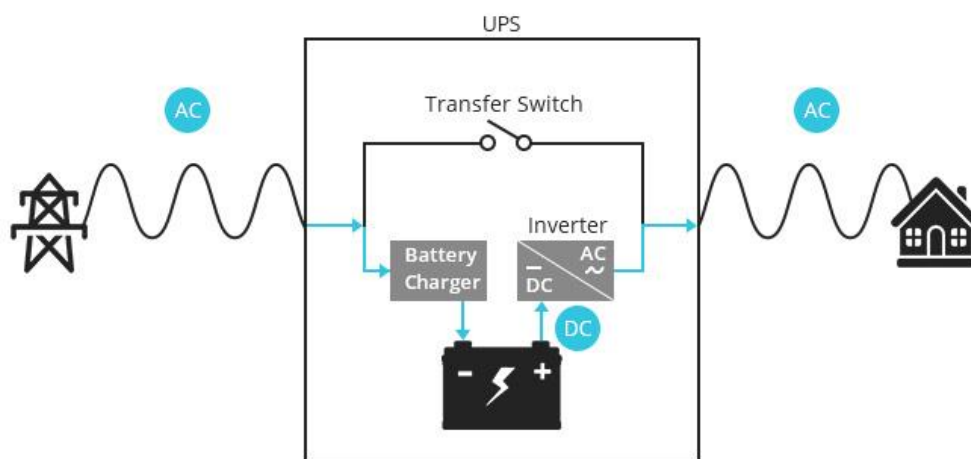
Tout ceci nous amène à penser que l'une des problématiques majeures du Soutien Logistique Intégré, se cristallise autour d'un équilibre difficile à trouver entre une **conception « Sur-Mesure »** où l'usage du SLI prendra tout son sens, mais souffrira d'une adaptabilité opérationnelle limitée et réduira drastiquement la taille de marché du produit, et entre une **conception standardisée** où les coûts de développement seront optimisés et augmenteront significativement la taille de marché du produit, mais où nous aurons du mal à y trouver un intérêt à l'usage du SLI.

PHOTO 1 - ÉQUIPEMENTS ÉNERGIE À ALIMENTER SANS COUPURE



Source : Photo prise par Julien Deroubaix le 8 Octobre 2020 à Athis-Mons

SCHEMA 19 - COMPOSANTS D'UN SYSTÈME ASI STANDARD



Source^A : FS community, 2020

[A] UPS se traduit en ASI en français

II. Regards et positionnement des parties prenantes sur le Soutien Logistique Intégré au travers de l'exemple du marché des ASI pour la DGAC

Maintenant que nous sommes bien au fait des composantes du Soutien Logistique Intégré et des modalités d'action permettant à celui-ci d'optimiser le coût global d'un système et ainsi de pouvoir faire force d'une proposition commerciale avantageuse auprès d'un client averti. Nous vous proposons d'étudier un cas pratique concernant un appel d'offres de la DGAC, qui souhaite mettre en place des infrastructures électriques sans coupure sur divers sites de contrôle de la navigation aérienne. L'enjeu était donc évidemment d'assurer une certaine disponibilité opérationnelle des équipements de la navigation aérienne au travers notamment de leur alimentation. **Comment garantir une alimentation sans coupure dans un contexte où la responsabilité de la production d'électricité est majoritairement externalisée ?** Il va s'agir alors de déployer des moyens de stockage de l'énergie sur site en prévision d'une éventuelle coupure d'alimentation externe, voire même de déployer des moyens de production d'énergie en interne pour garantir une certaine autonomie face aux causes extérieures d'incapacités opérationnelles. Cet appel d'offres en l'occurrence concerne la fourniture, l'installation et la maintenance de batteries et de systèmes ASI (Alimentation Sans Interruption) permettant, en cas de coupure, de faire bifurquer presque instantanément l'alimentation en électricité depuis le stock de batteries déployé sur site.

A. La méconnaissance et les incohérences du cahier des charges des exigences clients en matière de Soutien Logistique

Nous l'avons donc bien compris, les exigences clients en termes de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de sécurité influencent grandement les choix de conception d'un produit. Il s'agit alors pour le concepteur d'analyser le cahier des charges client pour adapter d'une part la conception de son système et d'autre part, le système de soutien à mettre en place.

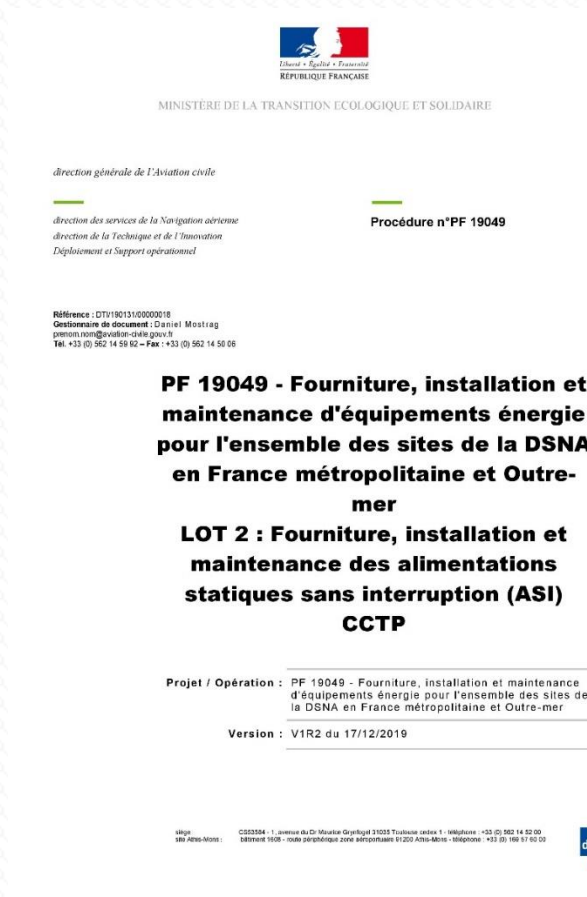
Le cahier des charges que nous allons ici étudier intervient dans un cadre global d'un Accord-Cadre qui est :

« Un instrument de planification de la commande publique, un contrat par lequel l'acheteur public s'engage à passer des marchés ou des bons de commandes auprès du ou des titulaires de l'accord, pendant une période donnée et pour des prestations déterminées »^A

Ce point est important, puisque cette contractualisation fixe la relation Client-Fournisseur sur la base d'un bordereau de prix de fournitures et de prestations fixé lors de l'attribution du marché et prolongé pendant toute la durée de la contractualisation par la suite, soit ici 8 ans.

[A] Les accords-cadres. (s. d.). Consulté le 18 Juin 2021, à l'adresse <https://www.economie.gouv.fr/daj/accords-cadres-2019>

IMAGE 10 - COUVERTURE CCTP DU MARCHÉ ASI



Source : CCTP DSNA

IMAGE 11 - OBJET DU CCTP

2.2 OBJET

Ce document constitue le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) applicable en vue de décrire les modalités :

- d'acquisition,
- d'installation,
- de supervision
- de formation
- et de maintenance

des ASI et de leurs accessoires, y compris batteries dans certains cas de figure, destinés aux besoins des centres de la Direction des services de la navigation aérienne.

2.3 DÉCOUPAGE DES PRESTATIONS

Les prestations feront l'objet de modalités de commandes différentes. Elles seront commandées au travers des outils suivants :

- unités d'œuvre (UO),
- catalogues fournisseurs,
- devis.

Source : CCTP DSNA

Le Cahier des Clauses techniques particulières ici a été découpé en plusieurs modalités, c'est-à-dire, une phase d'acquisition du matériel, une phase d'installation, une phase de supervision, une autre de formation et enfin la phase finale de maintenance des équipements.

Les sites concernés de la DSNA étant éparpillés dans toute la France Métropolitaine, ainsi que dans les Départements et Territoires d'Outre-Mer, il s'agit donc de fournir, installer, superviser, former et maintenir un grand nombre d'équipements et de personnel sur une multitude de sites géographiquement éloignés.

De plus, il faut rajouter à cela la présence de contraintes opérationnelles engendrées par le caractère ininterrompible du contrôle de la circulation aérienne par les sites de la DSNA. Il faut donc prendre en compte dans les différentes modalités décrites les conditions d'accès limitées aux zones d'accès réglementées lors des interventions sur site, **on ne peut pas accéder n'importe où sans autorisations préalables**, les contraintes opérationnelles en temps réels, **on ne peut pas intervenir n'importe quand**, et les contraintes logistiques en fonction de l'organisation des sites, **on ne peut pas intervenir n'importe comment**.

Ainsi, nous avons en quelque sorte l'ensemble des prestations constituant la zone d'action du Soutien Logistique Intégré rassemblées ici en un seul appel d'offres, avec notamment des exigences clients fortes à prendre en compte, et une nécessaire collaboration multi-actorielle entre concepteurs, producteurs, installateurs, logisticiens et maintenanciers pour répondre à cet appel d'offres. Et pourtant, la prestation du **Soutien Logistique Intégré n'est ici nullement indiquée !**

IMAGE 12 - PRESTATIONS DE SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ DU CCTP

10.7 SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ

10.7.1 Réalisation d'une étude de soutien logistique

A la suite de la notification de l'accord cadre, le titulaire aura à sa charge la rédaction d'une étude simple de soutien logistique intégrée.

Cette étude devra permettre de mettre à jour le lot de rechange à prévoir sur site en fonction de la typologie d'ASI. Elle comprendra également la liste de matériel ou de pièces détachées à pourvoir de façon centralisée dans un souci de mutualisation.

Cette étude devra être le résultat du retour d'expérience du titulaire ou du fabricant et d'une analyse s'appuyant sur certaines exigences, notamment de disponibilité, de non rupture de stock et en relation avec le MTBF, le MTTR et autres données pertinentes. Le nombre proposé de chaque élément devra être issu de cette analyse.

10.7.2 UO Lot de rechange ASI

Le contractant, fort de son expérience, définira la composition de ce lot de rechange. Ce lot devra comprendre toutes les pièces nécessaires au dépannage des ASI pour les pannes les plus courantes. Il sera composé au minimum des éléments suivants :

- de condensateurs de filtrage ac,
- de condensateurs électrolytiques DC,
- des ventilateurs,
- d'un exemplaire de chaque élément de protection utilisé ainsi que ses auxiliaires (disjoncteur, interrupteur, contact auxiliaire...),
- d'une boîte de fusibles pour chaque type utilisé,
- d'un module de puissance pour les ASI modulaires

Le contractant devra tenir compte de la puissance de l'ASI pour établir le prix du lot de rechange.

10.7.3 Acquisition d'éléments constitutants

Dans le cadre d'une mise en place d'échanges standards, l'administration aura besoin d'identifier les éléments constitutants des ASI avec les coûts et délais associés.

Le titulaire devra donc établir la liste des pièces constituant les ASI et pouvant être commandées individuellement en vue d'un échange standard.

10.7.4 Réparations et rénovations (rétrofit)

Ces prestations concernent l'ensemble des équipements électroniques des ASI de cet accord cadre. Ce sont des prestations de réparation ou de rénovation.

Dans un premier temps, les exploitants techniques sur site opérationnel envoient l'équipement en panne au centre logistique de la DTI à Toulouse. Le centre logistique se charge alors d'envoyer l'équipement en panne chez le Titulaire pour réparation ou rénovation. L'Administration adjointra une fiche décrivant la panne ou, s'il s'agit d'une rénovation, décrivant ses symptômes et l'action corrective éventuelle pratiquée sans succès.

Source : CCTP DSNA

La prestation du Soutien Logistique Intégré a en fait été regroupée dans la partie Maintenance^A. Nous pouvons voir qu'elle est segmentée en quatre composantes, une étude de soutien logistique, une définition de lot de rechange selon l'ASI, une identification des éléments constitutants des ASI et une prestation de réparation.

Autrement dit, le **Soutien Logistique Intégré est ici résumé à la logistique des pièces de rechange et aux moyens de réparation**. Il paraît clair à première vue que nous avons affaire à un soutien logistique assez édulcoré, mais pour autant tout de même complexe à chiffrer.

En effet, l'étude de soutien logistique demandée, n'a ici que pour unique but de prévoir une liste de pièces de rechange sur site, mais il n'est nulle part spécifié les exigences clients en termes de disponibilité, ce qui complexifie la tâche pour chiffrer une telle étude.

D'autre part, la prestation de réparation demandée pose beaucoup de questions. La logistique de récupération des équipements à réparer semble être à la charge du client avec son centre logistique à Toulouse, mais cette organisation semble assez coûteuse^B. En effet, le transport depuis Brest, Lille ou encore plus loin depuis les DOM/TOM risque de coûter cher et cela pourrait mériter des optimisations de process logistique. D'autant plus que par la suite, la réexpédition du matériel réparé et les risques d'endommagement sont alors cette fois-ci à la charge du Titulaire.

Ainsi comment chiffrer une telle prestation avec des coûts qui peuvent varier du tout au tout selon l'emplacement du site concerné ? Et plus important encore, qui décide de la mise en réparation ou du simple remplacement du matériel ? Cette décision se fait-elle avant le diagnostic et l'évaluation des coûts de réparation de l'équipement ou après ? Au vu de toute la procédure et des risques encourus durant le démontage, le transport, la réparation, ne serait-il pas plus intéressant de systématiquement décider d'un remplacement ? Surtout pour les systèmes ASI de faible puissance à moins grande valeur.

[A] Alors que nous l'avons vu auparavant, le Soutien Logistique Intégré englobe bien l'ensemble des prestations concourant à une meilleure maintenabilité d'un système, y compris les choix de conception, la formation, ou encore la logistique de maintenance.

[B] Nous avons vu la nécessaire proximité de la logistique de récupération précédemment due au fait que les équipements ne tombaient pas forcément en panne en même temps et requéraient alors un transport spécifique coûteux.

IMAGE 13 - PROCÉDURE RÉPARATION CCTP

Le Titulaire devra procéder dès réception de l'équipement :

- accuser réception qui vaudra départ des délais,
- réparer, rénover ou remplacer les sous-ensembles défectueux,
- compléter la fiche de panne avec les opérations réalisées,
- expédier le matériel dépanné à la DTI accompagné de sa fiche de panne et d'un bordereau de livraison,
- intégrer le forfait de réparation ou de remplacement du sous-ensemble dans le bilan récapitulatif trimestriel en vue de la facturation.

Chaque fiche sera repérée à l'aide d'un identifiant incluant le numéro de l'accord cadre, l'année et le trimestre en cours.

Pour l'expédition des matériels par le titulaire on conviendra que :

- l'expédition sera à la charge du titulaire,
- les matériels seront emballés et conditionnés afin de les protéger lors du transport,
- les matériels seront sous la responsabilité du titulaire jusqu'à la signature du bordereau de livraison par le service réception de la DTI,
- la date de signature du bordereau de livraison fera foi pour les délais,
- dans le cas où les matériels ne seraient pas acceptés par le service de réception de la DTI (colis dégradé, ...), le titulaire aura à sa charge de les faire réparer ou de les changer et de les réexpédier à la DTI.

À la fin de chaque trimestre, le Titulaire fournira un bilan récapitulatif listant toutes les interventions réalisées sur la période. Ce bilan fera la synthèse des fiches de suivi de réparation traitées au cours du trimestre.

Pour chaque intervention référencée dans le bilan seront précisés:

- le numéro de fiche d'intervention,
- l'identification du matériel (codification, désignation, numéro de série),
- le site de provenance (si renseigné lors de l'envoi du matériel chez le Titulaire),
- la date de réception chez le Titulaire / la Date de renvoi à la DTI,
- la description de l'intervention (cause de la panne, nature de la réparation),
- l'unité d'œuvre appliquée pour la réparation d'un matériel référencé dans l'annexe financière ;

L'Administration retournera au Titulaire le bilan récapitulatif signé par la personne compétente et portant la mention « accepté pour le montant de ... € ». Suite à l'acceptation par l'administration de l'état récapitulatif trimestriel, le titulaire pourra facturer les prestations (paiement à terme échu).

L'Administration adressera au Titulaire un bon de commande récapitulatif qui permettra à ce dernier de facturer les prestations alors concernées.

Dans le cas où le matériel en place serait remplacé, le matériel de remplacement devra :

- avoir les mêmes caractéristiques que le matériel en exploitation,
- offrir une qualité au moins égale
- être strictement interchangeable avec le matériel en centre.

Source : CCTP DSNA

IMAGE 14 - BORDEREAU DE PRIX DES LOTS DE RECHANGE

UD	Référence	Achat Prix unitaire € HT	Achat Délai (jours)	Réparation Prix unitaire € HT	Réparation Délai (jours)

En fonction de son étude SLI, le candidat remplira le tableau en listant toutes les pièces qui peuvent être dépannées.

Source : Bordereau chiffrage DSNA

Mais c'est bien lorsque l'on analyse le bordereau de prix des diverses prestations et fournitures à chiffrer que l'on se rend compte des incohérences du cahier des charges client et donc de la complexité à pouvoir répondre à un tel appel d'offres. Car le prix est un facteur déterminant dans l'attribution du marché et lorsque les exigences clients ne sont pas bien spécifiées ou que les modalités de réponse ne permettent pas de les prendre en compte, proposer un prix plus élevé dans l'idée de couvrir un haut niveau de service, c'est prendre le risque qu'un concurrent propose une offre plus avantageuse, car rien ne l'oblige contractuellement ensuite à couvrir ces services non spécifiés^A.

En l'occurrence, ici, le titulaire doit spécifier le détail de son lot de rechange dit « général », et indiquer les prix et les délais d'approvisionnement. Mais nous l'avons vu, après la notification de l'accord-cadre, il y a de toute façon une étude de Soutien Logistique à réaliser pour mettre à jour cette liste en fonction de la typologie d'ASI et du site d'implantation. En outre, le titulaire a ici tout intérêt à minimiser le lot de rechange pour faire baisser le prix et être plus compétitif, alors qu'en réalité, il faudrait maximiser ce lot de rechange sur site pour faire baisser les coûts de logistique et de maintenance.

[A] Ce qu'il se passera généralement ensuite, c'est que le client public procèdera à des « avenants » pour rajouter des clauses additionnelles et palier les lacunes du cahier des charges initial, mais la négociation de ces avenants ne se fait plus cette fois-ci dans un cadre de mise en concurrence ...

IMAGE 15 : BORDEREAU DE PRIX DES PRESTATIONS ASI

Description	Durée	Prestation	Gamme de puissance (kVA)	Prix unitaire € HT	Délai (jours)	Délais OM (jours)	Remarques
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MES		MES	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Installation		Installation	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Visite		Visite	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Remplacement		Remplacement	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Dépose		Dépose	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Recyclage		Recyclage	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Formation initiale 2 jours	2 jours	Formation initiale	100 à 500 kVA		7		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Formation continue 1 jour	1 jour	Formation continue	100 à 500 kVA		7		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MAJ Supervision		MAJ Supervision	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE préventive 1 an	1 an	MTCE préventive	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE corrective 1 an	1 an	MTCE corrective	100 à 500 kVA		4		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE corrective 7/7 1 an	1 an	MTCE corrective 7/7	100 à 500 kVA		3		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE corrective H24 1 an	1 an	MTCE corrective H24	100 à 500 kVA		3		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE préventive 2 ans	2 ans	MTCE préventive	100 à 500 kVA				
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE corrective 2 ans	2 ans	MTCE corrective	100 à 500 kVA		4		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE corrective 7/7 2 ans	2 ans	MTCE corrective 7/7	100 à 500 kVA		3		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - MTCE corrective H24 2 ans	2 ans	MTCE corrective H24	100 à 500 kVA		3		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Investigation technique 1 jour	1 jour	Investigation technique	100 à 500 kVA		7		
ASI ON-LINE 100 à 500 kVA - Investigation technique jour supp 1 jour	1 jour	Investigation technique jour supp	100 à 500 kVA		1		

Source : Bordereau chiffrage DSNA

IMAGE 16 : BORDEREAU DE PRIX DES ASI

UO_ONLINE	Description	Puissance	Autonomie mins	Armoire batteries	Référence fabricant	Prix unitaire € HT	Délai (jours)	Délais OM (jours)
UO_ONLINE_10 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 10 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	10 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_20 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 20 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	20 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_30 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 30 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	30 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_40 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 40 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	40 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_50 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 50 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	50 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_60 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 60 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	60 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_70 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 70 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	70 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_80 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 80 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	80 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_90 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 90 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	90 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_100 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 100 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	100 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_150 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 150 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	150 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_200 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 200 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	200 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_250 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 250 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	250 kVA	60	avec				
UO_ONLINE_300 kVA_60 mins_avec ARMOIRE	ASI On-line double conversion 300 kVA avec armoire batteries externe autonomie 60 mins	300 kVA	60	avec				

Source : Bordereau chiffrage DSNA

De même, dans le bordereau de prix des prestations et notamment des prestations de maintenance, les modalités de réponse ont été fixées et bloquées par rapport à une gamme d'ASI, et non par rapport au lieu d'implantation. Ce qui veut dire concrètement que le répondant, n'ayant aucune idée des quantités et des lieux d'implantation d'ASI, doit deviner ces 2 paramètres pour déterminer le coût de la maintenance. Car, selon l'organisation des moyens de maintenance du répondant, intervenir à Paris, Nice ou à Tahiti, ne représentera certainement pas le même coût. De plus, même si les ASI sont regroupées en gamme de puissance, cela n'est pas suffisant, nous pouvons raisonnablement penser que maintenir une ASI de 500 KVA est relativement plus coûteux que maintenir une ASI de 100 KVA, soit un rapport de 5 en écart de puissance. Le répondant doit donc aussi deviner la proportion d'ASI de faible et haute puissance à l'intérieur des gammes choisies qui sera réellement achetée et installée pour pouvoir optimiser à la baisse son offre de prix. Sinon il y aura toujours ce même risque de se faire battre par la concurrence.

Enfin, et c'est peut-être le point le plus remarquable dans notre démonstration de la méconnaissance du client sur la démarche SLI, il faut bien observer les paramètres de réponse au bordereau de prix des ASI ou même des prestations. Nous pouvons constater la présence du paramètre de la puissance, de l'autonomie, de la référence fabricant, du prix unitaire et des délais. **Mais pas d'engagement sur un temps de disponibilité minimal du système ou même tout autre indice de performance.** Cela veut dire très concrètement que les offres sont évaluées et comparées sur le prix, sur les délais, éventuellement sur le fabricant proposé, mais aucunement sur la réelle performance du système en termes de fiabilité ou de maintenabilité. Le répondant pourrait donc proposer le système ASI le moins fiable du marché, à partir du moment où il serait aussi le moins cher, il n'y aurait donc aucun problème. Pire encore, si le répondant est à la fois l'industriel et le maintenancier de ses propres systèmes, il serait d'autant plus dans son intérêt de faire des économies sur la fiabilité de ses systèmes, cela lui générerait d'autant plus de chiffre d'affaires en commande de prestation de maintenance. Nous ne sommes, là, plus très loin de l'obsolescence programmée.

IMAGE 17 - EXIGENCES DE FORMATION

9 FORMATION

9.1 MODALITÉS DE COMMANDE (UO)

Les formations seront commandées sur UO, on pourra avoir :

- des sessions dans les locaux du fabricant avec déplacement des stagiaires chez le fabricant : frais de déplacement des agents DGAC seront à la charge de la DGAC sauf le repas du midi qui sera pris en charge du titulaire
- des sessions sur site en métropole (corse incluse) ou en outre-mer avec déplacement du formateur sur place : à la charge de l'entreprise pour ses propres frais de déplacement

Les supports de cours et une attestation de stage seront remis au format papier et informatique aux participants. L'approbation du support de cours initiale sera réalisée par la DTI, à noter que le support pourra évoluer selon les remarques des personnels formés.

9.2 FORMATION INITIALE (UO)

Les cours de formation devront couvrir les bases du fonctionnement de l'appareil, et l'utilisation du manuel d'utilisation :

- le principe de fonctionnement de l'ASI et de ses composants,
- la prise en main de l'interface de gestion de l'ASI (l'utilisation et l'exploitation des voyants ou des messages d'anomalies),
- les procédures de mise en service, marche, arrêt, by-pass, modules et diagnostic,
- l'exploitation de l'ASI dans les différents modes de charges (pas de charge, charge déséquilibrée et charge nominale),
- la localisation et étude par schémas-blocs des sous-ensembles de puissance présentation de la commande électronique,
- la manipulation du matériel.

Le candidat proposera une session de formation pour 6 personnes. La durée de cette session sera adaptée au type de matériel installé et sera précisée par le candidat.

Le but du stage est de former les exploitants à des opérations de maintenance de niveau 1 et niveau 2.

Le plan de la formation sera fourni au moins une semaine avant au service suivant la formation.

Formation réalisée avant la mise en service de l'équipement et durera 2 jours.

9.3 FORMATION CONTINUE (UO)

Cette formation aura pour but de reprendre les principales caractéristiques des actions de maintenance ainsi que d'échanger avec les participants sur les problèmes rencontrés et les actions correctives mises en place ou qu'il aurait convenu de mettre en place.

Le stage sera réservé à des personnels de la DGAC, et se déroulera sur site pendant 1 jour pour 6 personnes environ. Il reprendra les points de la formation initiale (voir § 9.2) en les balayant plus rapidement.

Source : CCTP DSNA

IMAGE 18 - NIVEAUX DE MAINTENANCE

1^{er} niveau :

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement, ou échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants ou certains fusibles.

Le stock des pièces consommables nécessaires est très faible.

2^{ème} niveau :

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et opérations mineures de maintenance préventive telles que graissage ou contrôle de bon fonctionnement.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien habilité, de qualification moyenne, sur place, avec l'outillage portable défini par les instructions de maintenance, à l'aide de ces mêmes instructions.

Les pièces de rechange transportables nécessaires peuvent être approvisionnée sans délai et à proximité immédiate du lieu d'exploitation.

Nota : un technicien est habilité lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels, et est désigné pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

3^{ème} niveau :

Identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécanique mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que réglage général ou réaligement des appareils de mesures.

Ce type d'intervention peut être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans un local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesures et de réglages, et éventuellement des bancs d'essais et de la documentation nécessaire à la maintenance du bien, ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.

4^{ème} niveau :

Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesures utilisés pour la maintenance, et éventuellement la vérification des étalons de travail pour les organismes spécialisés.

Ce type d'intervention peut être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc...), et éventuellement des bancs de mesures et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

5^{ème} niveau :

Rénovation, reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier central ou à une unité extérieure.

Par définition, ce type de travaux est donc effectué par le constructeur, ou par le constructeur, avec les moyens définis par le constructeur et donc, proches de la fabrication.

En cas de sous-traitance, une déclaration de sous traitance devra être signée entre le prestataire et le sous-traitant. Le prestataire devra s'assurer que le ou les sous-traitants répondent aux normes de qualité.

B. Des offres de soutien standardisées et généralistes : le problème du principe d'acquisition

Donc nous venons de le voir, les conditions réglementaires de contractualisation influencent grandement la manière dont sont attribués les marchés. La méthode de mise en concurrence, le choix des paramètres de sélection, les modalités de fonctionnement du partenariat Client/Fournisseur, tout comme les engagements et responsabilités attribués à chacun des partenaires influencent directement les industriels candidats et la proposition qu'ils vont soumettre.

Ici, en l'occurrence, il s'agit avant tout **d'un contrat d'acquisition de bien**, soit un transfert entre un industriel fournisseur de systèmes (Legrand, Schneider Electric, Riello, Socomec) et une organisation opérationnelle (DSNA). Nous l'avons vu, la partie soutien logistique correspondant plus à un service d'approvisionnement en pièces détachées qu'en une réelle stratégie de développement d'un système plus maintenable, plus fiable, et donc plus disponible. La maintenance quant à elle, si elle occupe une place importante dans le cahier des clauses techniques particulières, est toute relative par rapport à la réelle volonté de la DSNA d'être autonome dans son fonctionnement, y compris sur la partie maintenance.

Nous pouvons voir que les modalités de formation ont pour but de former les exploitants aux bases du fonctionnement des équipements, ainsi qu'à la manière de les utiliser. Il s'agit donc ici pour les exploitants, de mieux savoir user des systèmes pour ne pas commettre d'erreurs d'usage et ne pas réduire ainsi la fiabilité opérationnelle des systèmes ASI. Mais ce n'est pas tout, puisque tout exploitant doit aussi être formé à des opérations de maintenance de niveau 1 et 2. Ces opérations de maintenance se déclinent sur 5 niveaux, les niveaux les plus élevés correspondant à des opérations de maintenance de plus grande technicité pour des défaillances plus complexes mais aussi normalement plus rares. Il s'agit donc pour les exploitants, de mieux savoir maintenir les systèmes pour les pannes les plus courantes et d'augmenter la maintenabilité opérationnelle des systèmes ASI.

En effet, Monsieur Eric Ouanes, adjoint au chef de pôle INS, à la DTIA^A, nous précise même que :


« Tout le personnel est formé et a une habilitation électrique B2-B2V pour pouvoir diriger et exécuter en sécurité des opérations électriques. »

Autrement dit, le recours au maintenancier externe ne se fera que dans de rares cas où de lourdes opérations de maintenance seront nécessaires. **Il s'agit de gagner en autonomie opérationnelle.**

Mais cette organisation centrée sur un **principe d'acquisition de biens et de services présente un problème conséquent**. En effet, nous avons vu précédemment dans notre planche de Bande Dessinée qu'une bonne optimisation du Soutien Logistique était peut-être dans le décuplement des capacités de résolution dès les premiers stades du Soutien Logistique, soit en décuplant les capacités de l'utilisateur ou de l'exploitant pour résoudre les problèmes techniques par lui-même. Nous avons peut-être tort.

[A] Direction de la Technique et de l'Innovation, rattaché à la Direction des Services de la Navigation Aérienne (DSNA) et à la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)

IMAGE 19 - DESCRIPTIF DES CONTRATS DE MAINTENANCE DE SCHNEIDER ELECTRIC

Life is On | 

Annexe 6 : Descriptif des contrats de maintenance

Prestations comprises	Avantage Plus	Avantage Prime	Avantage Ultra
Visite de Maintenance Préventive - La visite de maintenance est planifiée annuellement pour les onduleurs et bi-annuellement pour les systèmes de cooling. Ces visites sont réalisées en heures ouvrées (du lundi au vendredi de 8h00 à 17h00) sauf option complémentaire. - Un rapport reprenant l'ensemble des vérifications effectuées et des solutions préconisées pour assurer la pérennité de votre équipement est laissé sur site après chaque visite.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Intervention sur site - Intervention sur site le jour ouvré suivant entre 8h00 et 17h00 après diagnostic téléphonique ou alerte Téléservice (sauf option complémentaire). - Un rapport détaillé est laissé sur site après chaque intervention.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Téléservice - Service de surveillance 24h/24 et 7jours/7de vos systèmes assuré par des techniciens qualifiés, afin d'établir des diagnostics, signaler et résoudre des problèmes avant qu'ils ne deviennent critiques. - Un rapport détaillé identifiant les éventuels problèmes et recommandations. - Une information en temps réel pour une intervention efficace	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Support Technique - Un accès privilégié à notre support technique.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Accès à notre logistique de livraison des Pièces de Rechange	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Main d'œuvre & déplacement	Non inclus	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pièce de Rechange (hors batteries)	Tarif préférentiel	Tarif préférentiel	<input checked="" type="checkbox"/>
Délai d'intervention réduit, dépollution, visite hors heures ouvrées, visite complémentaire, remplacement des batteries	Option	Option	Option
Plan de maintenance complet au niveau du site permettant de maximiser la fiabilité de l'infrastructure. Evaluation du Datacenter Etude de la salle informatique afin d'identifier les risques potentiels concernant la disponibilité et les possibles optimisations énergétiques ou capacitaires.	Option Advantage Max		

Source : Proposition Schneider Electric pour l'appel d'offres DSNA

IMAGE 20 - DESCRIPTIF DE LA PROPOSITION DE LEGRAND POUR L'APPEL D'OFFRES DSNA



legrand
ENERGIES SOLUTIONS

- 1. Présentation de LEGRAND ENERGIES SOLUTION**
 - 1.1. Présentation de la société
 - 1.2. Domaine d'intervention et références
 - 1.3. Organigramme LEGRAND ENERGIES SOLUTIONS
 - 1.4. Contacts et implantation des agences
 - 1.5. Nos gammes de produits
 - 1.6. Charte de la prévention
- 2. Gestion de la qualité LEGRAND ENERGIES SOLUTIONS**
 - 2.1. Procédures de la maintenance d'un onduleur & gestion d'une panne
 - 2.2. Nos moyens techniques
 - 2.2. Historique et suivi du parc matériel de chaque client
 - 2.3. Gestion des contrats / interventions / planning
- 3. Visite de Maintenance**
 - 3.1. Contrat de maintenance souscrit
 - 3.2. Maintenance préventive
 - 3.3. Maintenance corrective palliative ou dépannage
 - 3.4. Maintenance corrective curative ou réparation
 - 3.5. Astreinte 24h/24 7j/7
- 4. Fourniture de Batteries**

Source : Proposition Legrand pour l'appel d'offres DSNA

Car en effet, en décuplant l'autonomie du personnel d'exploitation, celui-ci fait moins appel au support technique de l'industriel. Dans ce principe d'acquisition, **l'industriel n'est plus qu'un fournisseur de pièces détachées**. Il n'a plus de visibilité sur l'exploitation, il ne sait plus et n'a plus le retour d'expérience sur la manière dont sera exploité ses produits. Or pour Stéphane Michel, Frank Weiser et Eric de Tocqueville de la société LGM^A :

« La conception d'un système de soutien et de ce fait, d'un système global opérationnellement performant, nécessite de nombreuses informations concernant son exploitation. L'industriel doit donc souvent traiter « en aveugle » cet aspect de la conception. »^B

Nous pouvons combiner à cela la difficulté du client à spécifier les exigences du soutien, que nous avons vu dans la partie précédente. En effet, selon les mêmes auteurs :

« Ces exigences de soutien sont d'une part, très difficile à spécifier car hautement dépendantes des conditions d'exploitation et d'autre part difficilement vérifiables objectivement sur le terrain. Cette difficulté entraîne d'ailleurs un biais dans le mode de spécification du client qui va souvent préférer imposer la méthode normalisée en lieu et place d'une exigence. L'industriel se voit donc imposer une méthode sans vraiment être véritablement contraint dans sa démarche de développement. Il aura en conséquence tendance à porter son effort sur la livraison de l'ensemble des éléments constitutifs de son système incluant le système de soutien qui eux seront synonymes de clés de paiement. » (S. Michel, F. Weiser, E. de Tocqueville, 2014).

Les Industriels vont donc proposer des **offres de soutien standardisées et généralistes**, puisque c'est sur les produits logistiques qu'ils vont être jugés pour l'attribution des appels d'offre, et non pas sur la réelle performance opérationnelle du système global.

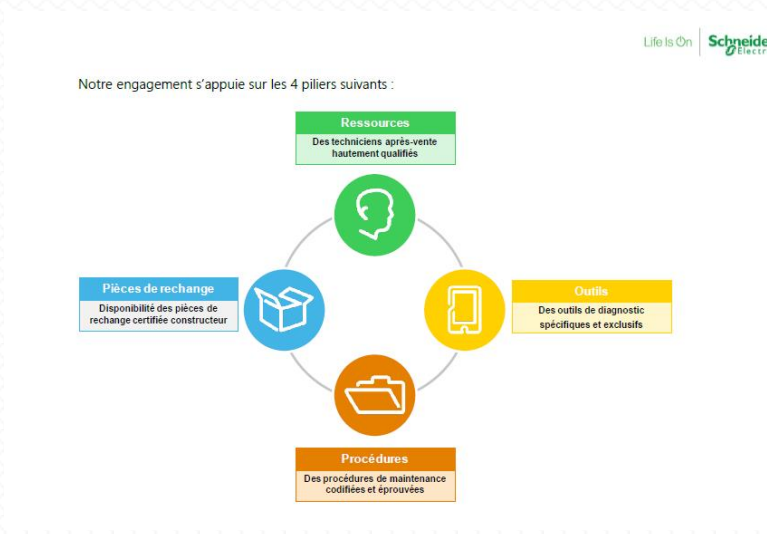
Nous pouvons bien constater sur ce descriptif des contrats de maintenance de Schneider Electric, une certaine standardisation des produits logistiques, accessibles selon le modèle d'offre qui convient le mieux au client. Force est de constater que le « Plan de maintenance » qui est un des livrables majeurs des études de Soutien Logistique et qui permet d'optimiser et de personnaliser les procédures et ressources de maintenance en fonction de l'environnement du site et des exigences clients, ce plan ne rentre dans aucune offre, il n'est qu'une option facultative pour les clients les plus exigeants.

Legrand ne fait pas mieux puisque l'idée même de Soutien Logistique est totalement absente de sa proposition, de même pour la prestation de formation des personnels exploitants. Il s'agit là donc d'une proposition unique de maintenance avec comme produits logistiques, une maintenance préventive, corrective palliative et curative, un service d'astreinte pour le support technique, ainsi qu'une logistique de pièce détachée, mais sous le contrôle total des techniciens Legrand lors de leurs interventions de maintenance. Autrement dit, une offre généraliste qui ne prend pas en compte les exigences formulées par le client, notamment de lot de pièces de rechange présents sur site, d'études de soutien logistique et de formation des personnels exploitants.

[A] Filiale du Groupe LGM, est une société française spécialisée en ingénierie des systèmes et du soutien.


[B] Michel, S., Weiser, F., de Tocqueville, E. (2014). *Retours d'expérience et perspectives pour le soutien logistique intégré*. (19ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement). p. 1

IMAGE 21 - ENGAGEMENTS SCHNEIDER ELECTRIC EN TERMES DE MAINTENANCE



Source : Proposition Schneider Electric pour l'appel d'offres DSNA

IMAGE 22 - POINTS FORTS DES SERVICES LOGISTIQUES DE SCHNEIDER ELECTRIC

Life Is On | 

5. Notre équipe de technicien au plus proche de vos installations

Liste des techniciens et implantations en France (cf Annexe 7).

6. La meilleure efficacité sur site

- Outils de diagnostic spécifiques
- Techniciens formés aux dernières technologies (plus de 50 h de formation par an)
- Logistique de Pièces de Rechange & Garantie de pièces d'origine
- Respect des normes de sécurité

7. Le plus grand parc installé sous contrat

Retour d'expérience
Mutualisation d'outils logistiques performants

8. Assurer la continuité de service

Notre capacité à analyser les données issues des maintenances préventives associée à notre large retour d'expérience, nous permet de limiter le nombre et la durée des interventions correctives (dites « de dépannage »).

9. Disponibilité maximum de vos installations

En cas d'incident, nous vous assurons le retour à la normale le plus rapide possible :

- Temps d'intervention sur site respecté de par la présence de plusieurs techniciens sous 2h
- Temps de dépannage maîtrisé grâce à l'utilisation d'outils de diagnostic performants
- Temps de réparation court grâce à notre logistique de pièces de rechange (disponibilité sous 4 heures partout en France métropolitaine)

12. Une logistique de pièces de rechange proche

Notre organisation logistique sert à plusieurs objectifs :

- Vous dépanner à la première intervention
- Livrer l'ensemble des références sur site ou en relais colis
- Gérer les niveaux techniques des cartes électroniques
- Gérer l'obsolescence (condensateurs chimiques, etc.)
- Organiser la reprise des pièces (pour destruction et/ou réparation)

Dans le cadre de travaux prévus et planifiés entre Schneider Electric et les sites de la DSNA de France métropolitaine :

Utilisation d'accès point ou point relai UPS

- Livraison le matin des PDR commandées la veille
- Reprise le lendemain des PDR défectueuses

Dans le cadre de travaux d'urgence :

- Livraison des PDR par taxi colis en France métropolitaine
- Des stocks régionaux sur les « grandes métropoles de France métropolitaine pour les références les plus utilisées
- 1 stock France à Evry pour l'ensemble des références
- Possibilité de commander les pièces 24h/24 et 7j/7

Source : Proposition Schneider Electric pour l'appel d'offres DSNA

Les deux autres concurrents industriels dans cet appel d'offres, que sont Riello et Socomec, ne se distinguent pas autrement, et sont à ranger dans la même catégorie de simple maintenancier que Legrand. Finalement, c'est bien Schneider Electric qui se distingue en reprenant quelques codes du Soutien Logistique que l'on peut reconnaître notamment à la recherche d'une proximité du soutien logistique que ce soit pour le personnel de maintenance ou la logistique des pièces détachées, le support technique interne avec les outils de diagnostics et d'évaluation des défaillances présents sur site, l'idée du retour d'expérience dans l'exploitation des systèmes, et enfin et surtout, l'idée de réduire au minimum les temps d'indisponibilités en mettant en place en amont une organisation de soutien logistique adéquat.

Mais tout ceci n'est pas clairement formulé dans une démarche de développement en amélioration continue de ses systèmes. Il s'agit avant tout de services logistiques généralistes et qui ont l'air d'avoir été définis non pas pour le marché de la DSNA, mais bien pour l'organisation générale de la maintenance de la société Schneider Electric. Ainsi ces exigences clients ont plus l'air d'avoir été anticipés que mûrement réfléchit dans le cadre d'une étude de Soutien Logistique dédié à la DSNA. *Comment expliquer ce mouvement général de standardisation des offres de soutien de la part des industriels ?*

IMAGE 23 - GAMME D'ONDULEURS LEGRAND

Onduleurs

Les onduleurs Keor, Niky et Daker permettent de protéger les installations contre les surtensions et les courts-circuits. Ils sont donc particulièrement adaptés aux environnements avec perturbations fréquentes comme les serveurs, les terminaux de points de vente et autres systèmes de sécurité.



Source : Legrand

IMAGE 24 - VARIANTES DANS UNE DES GAMMES D'ONDULEURS LEGRAND



Onduleur rack ou tour Keor RT avec batterie avec 8 prises IEC 10A - 1000VA 900W - port USB et RS232
REF. 3 100 45



Onduleur rack ou tour Keor RT avec batterie avec 8 prises IEC 10A - 1500VA 1350W - port USB et RS232
REF. 3 100 46



Onduleur rack ou tour Keor RT avec batterie avec 8 prises IEC 10A + 1 prise IEC 16A - 2200VA 2000W - port USB et RS232
REF. 3 100 47



Onduleur rack ou tour Keor RT avec batterie avec 8 prises IEC 10A + 1 prise IEC 16A - 3000VA 2700W - port USB et RS232
REF. 3 100 48

Source : Legrand

C. Vers un « Soutien Logistique Initial » : Le problème du Sur-Mesure

Nous l'avons vu, plusieurs facteurs incitent les industriels à se limiter à une approche réductrice et généraliste du Soutien Logistique Intégré. Que ce soit de par la difficulté du client à spécifier ses exigences et à choisir des paramètres d'attribution des marchés de la commande publique en cohérence avec la démarche SLI, d'une part, ou que ce soit de par la difficulté des industriels à avoir le retour d'expérience suffisant pour constituer leur démarche SLI et élaborer une BASL qui, nous l'avons vu, est un modèle de données qui nécessite déjà des efforts conséquents en temps normal, d'autre part, les industriels ne sont pas incités à investir dans des démarches SLI dans leur cycle de développement.

En effet, le cadre réglementaire des marchés favorisant le prix à la performance opérationnelle réelle, les Industriels se doivent d'être concurrentiel sur le prix d'acquisition de leurs systèmes, et donc sur le coût de leur développement. Il s'agit donc de concevoir les systèmes les moins chers avec juste assez de produits logistiques de soutien pour satisfaire les exigences client de soutien spécifiées. En outre, l'industriel va mettre en place des stratégies pour **développer à moindre coût des systèmes suffisamment soutenable**. Et clairement, la stratégie du Sur-Mesure ne permet pas cette réduction, puisqu'elle multiplie les investissements en études et en conception selon le nombre de clients.

Ces stratégies vont d'abord passer par un modèle de développement en « **Gammes** » de produits. Comme nous pouvons le voir sur l'image 23, Legrand propose trois gammes d'onduleurs qui vont couvrir différents segments de marché. Il s'agit en fait de mutualiser le développement spécifique de plusieurs produits dont les besoins clients sont relativement identiques, mais dont la performance exigée peut varier. L'idée étant de réduire les coûts de développement en s'appuyant sur des concepts validés 1 fois et appliqués sur plusieurs produits. Le processus ASL va donc être aussi mutualisé et les produits logistiques vont être standardisés pour l'ensemble des produits de la gamme.

Ces 3 gammes sont ensuite « **variantées** » en plusieurs modèles d'un même produit qui vont présenter des caractéristiques techniques et visuelles sensiblement identiques, notamment en matière de sous-composants relativement standardisés, mais qui peuvent varier en nombre et en performance, sans donc remettre en cause tout le plan de maintenance de la gamme du produit.


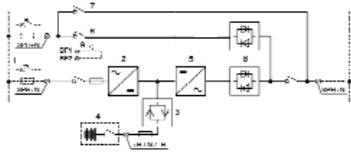
Cette stratégie quitte donc le mode de développement spécifique et va faire valoir une tout autre stratégie commerciale que l'on surnomme « **COTS** » (Commercial Off-The-Shelf)^A. L'idée étant de se constituer un catalogue fourni à moindre coût (de conception, mais aussi de production), où le client pourra aller piocher les produits qui lui conviennent le mieux.

Nous allons alors parler de « **Soutien Logistique Initial** »^B et non Intégré, puisque l'industriel n'utilise de la démarche SLI qu'une seule fois, lorsqu'il se décide à concevoir une nouvelle gamme de produits pour atteindre un nouveau segment de marché. Il ne considère pas ainsi les exigences spécifiques d'un client en particulier, mais un ensemble de considérations plus générales à l'égard d'un marché de clients. Les travaux SLI sont alors réduits à l'élaboration du plan de maintenance à partir des informations de conception et des services logistiques autour de la gamme.

[A] Produits commerciaux sur étagère.

[B] Michel, S., Weiser, F., de Tocqueville, E. (2014). *Retours d'expérience et perspectives pour le soutien logistique intégré*. (19ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement). p. 4

IMAGE 25 - OPTIONS DES ONDULEURS LEGRAND

	87045 LIMOGES Cedex Numéro de téléphone (+33) 05 55 06 87 87 - Fax : (+33) 05 55 06 88 88																																																																												
KEOR HPE 200-250-300																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: left;">4. Output Inverter</th> </tr> <tr> <th>Power (kVA)</th> <th>200</th> <th>250</th> <th>300</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inverter Bridge</td> <td colspan="3">3-Level IGBT (High Frequency PWM)</td> </tr> <tr> <td>Nominal Apparent Output Power (kVA Cosφ 1.0)</td> <td>200</td> <td>250</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Nominal Active Output Power (kW Cosφ 1.0)</td> <td>200</td> <td>250</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>Efficiency (DC - AC) (%)</td> <td colspan="3"> @25% load Up to 96 @50% load Up to 97 @75% load Up to 97 @100% load Up to 98 </td> </tr> <tr> <td>Output</td> <td colspan="3">3 Phase / 4 Wires</td> </tr> <tr> <td>Rated Output Voltage (selectable) (Vac)</td> <td colspan="3">380-400-415</td> </tr> <tr> <td>Output Voltage Stability</td> <td colspan="3"> - Static (Balanced Load) (%) ±1 - Static (Unbalanced Load) (%) ±2 - Dynamic (Step Load 20% - 100% ±20%) (%) ±5 - Output Volt. Recovery Time(after step load) (ms) < 20 - IEC EN 62040-3 VFI-SS-111 </td> </tr> <tr> <td>Phase Angle Accuracy (°)</td> <td colspan="3"> - Balanced Load ±1 - 100% Unbalanced Load ±1 </td> </tr> <tr> <td>Output Frequency (selectable) (Hz)</td> <td colspan="3">50 / 60</td> </tr> <tr> <td>Output Frequency Stability</td> <td colspan="3"> - Free Running Quartz Oscillator (Hz) ±0.001 - Inverter Sync. with Mains (Hz) ±2 (other on request) - Slew rate (Hz/s) <1 </td> </tr> <tr> <td>Nominal Output Current (@ 400 Vac output) (A)</td> <td>289</td> <td>361</td> <td>433</td> </tr> <tr> <td>Overload Capability</td> <td colspan="3"> 10 min >100%...125% 30 s >125%...150% 100 ms >150% </td> </tr> <tr> <td>Short Circuit Current (A)</td> <td>720</td> <td>900</td> <td>1050</td> </tr> <tr> <td>Short Circuit Characteristic</td> <td colspan="3">Current limited with electronic protection Automatic stop after 5 seconds</td> </tr> <tr> <td>Output Waveform</td> <td colspan="3">Sinewave</td> </tr> <tr> <td>Output Harmonic Distortion (%)</td> <td colspan="3"> - Linear Load < 1 - Non Linear Load < 5 - IEC EN 62040-3 Fully compliant </td> </tr> <tr> <td>Max. Crest Factor without derating</td> <td colspan="3">3 : 1</td> </tr> </tbody> </table>	4. Output Inverter				Power (kVA)	200	250	300	Inverter Bridge	3-Level IGBT (High Frequency PWM)			Nominal Apparent Output Power (kVA Cosφ 1.0)	200	250	300	Nominal Active Output Power (kW Cosφ 1.0)	200	250	300	Efficiency (DC - AC) (%)	@25% load Up to 96 @50% load Up to 97 @75% load Up to 97 @100% load Up to 98			Output	3 Phase / 4 Wires			Rated Output Voltage (selectable) (Vac)	380-400-415			Output Voltage Stability	- Static (Balanced Load) (%) ±1 - Static (Unbalanced Load) (%) ±2 - Dynamic (Step Load 20% - 100% ±20%) (%) ±5 - Output Volt. Recovery Time(after step load) (ms) < 20 - IEC EN 62040-3 VFI-SS-111			Phase Angle Accuracy (°)	- Balanced Load ±1 - 100% Unbalanced Load ±1			Output Frequency (selectable) (Hz)	50 / 60			Output Frequency Stability	- Free Running Quartz Oscillator (Hz) ±0.001 - Inverter Sync. with Mains (Hz) ±2 (other on request) - Slew rate (Hz/s) <1			Nominal Output Current (@ 400 Vac output) (A)	289	361	433	Overload Capability	10 min >100%...125% 30 s >125%...150% 100 ms >150%			Short Circuit Current (A)	720	900	1050	Short Circuit Characteristic	Current limited with electronic protection Automatic stop after 5 seconds			Output Waveform	Sinewave			Output Harmonic Distortion (%)	- Linear Load < 1 - Non Linear Load < 5 - IEC EN 62040-3 Fully compliant			Max. Crest Factor without derating	3 : 1			<p>6. Block Diagram</p>  <ol style="list-style-type: none"> 1. Separate mains input for rectifier and bypass 2. Rectifier battery-charger 3. Battery static switch 4. External battery 5. Inverter 6. Emergency line (bypass) 7. Maintenance bypass line 8. Inverter (SSI) and bypass (SSB) static switch 9. Optional contact for external back-feed protection <p>OPTIONS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. BATTERY TEMPERATURE VOLTAGE COMPENSATION 2. SERIAL INTERFACE RS-485 (ModBus protocol RTU) 3. SNMP ADPTER 4. PARALLEL CARD INTERFACE KIT 5. LOAD-SYNC CARD INTERFACE KIT 6. ISOLATION TRANSFORMER 7. WALL MOUNTED FUSED SWITCH BOX <p>SOFTWARE ENABLED FUNCTIONS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. DIESEL MODE OPERATION 2. RECTIFIER WALK-IN TIME 3. RECTIFIER DELAY ON STARTUP (HOLD-OFF TIME) 4. DYNAMIC CHARGING MODE (DCM) 5. VFD (ECO) OPERATING MODE MANAGEMENT 6. UHE (ULTRA HIGH EFFICIENCY) OPERATING MODE MANAGEMENT 7. FREQUENCY CONVERTER
4. Output Inverter																																																																													
Power (kVA)	200	250	300																																																																										
Inverter Bridge	3-Level IGBT (High Frequency PWM)																																																																												
Nominal Apparent Output Power (kVA Cosφ 1.0)	200	250	300																																																																										
Nominal Active Output Power (kW Cosφ 1.0)	200	250	300																																																																										
Efficiency (DC - AC) (%)	@25% load Up to 96 @50% load Up to 97 @75% load Up to 97 @100% load Up to 98																																																																												
Output	3 Phase / 4 Wires																																																																												
Rated Output Voltage (selectable) (Vac)	380-400-415																																																																												
Output Voltage Stability	- Static (Balanced Load) (%) ±1 - Static (Unbalanced Load) (%) ±2 - Dynamic (Step Load 20% - 100% ±20%) (%) ±5 - Output Volt. Recovery Time(after step load) (ms) < 20 - IEC EN 62040-3 VFI-SS-111																																																																												
Phase Angle Accuracy (°)	- Balanced Load ±1 - 100% Unbalanced Load ±1																																																																												
Output Frequency (selectable) (Hz)	50 / 60																																																																												
Output Frequency Stability	- Free Running Quartz Oscillator (Hz) ±0.001 - Inverter Sync. with Mains (Hz) ±2 (other on request) - Slew rate (Hz/s) <1																																																																												
Nominal Output Current (@ 400 Vac output) (A)	289	361	433																																																																										
Overload Capability	10 min >100%...125% 30 s >125%...150% 100 ms >150%																																																																												
Short Circuit Current (A)	720	900	1050																																																																										
Short Circuit Characteristic	Current limited with electronic protection Automatic stop after 5 seconds																																																																												
Output Waveform	Sinewave																																																																												
Output Harmonic Distortion (%)	- Linear Load < 1 - Non Linear Load < 5 - IEC EN 62040-3 Fully compliant																																																																												
Max. Crest Factor without derating	3 : 1																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">5. Bypass</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Automatic static by-pass</td> <td>Electronic Thyristor Switch Three-phase + Neutral</td> </tr> <tr> <td>Nominal input voltage (Vac)</td> <td>380 - 400 - 415</td> </tr> <tr> <td>Input voltage range (%)</td> <td>±10</td> </tr> <tr> <td>Input frequency (Hz)</td> <td>50 - 60</td> </tr> <tr> <td>Input frequency range (%)</td> <td>±10</td> </tr> <tr> <td>Transfer mode</td> <td>Without break</td> </tr> <tr> <td>Transfer: Inverter - automatic bypass</td> <td>In case of: - Short-circuit - Battery discharged - Inverter lost - Inverter failure</td> </tr> <tr> <td>Transfer: automatic bypass - Inverter</td> <td>- Automatic - Block on bypass after 6 transfers within 2 minutes, reset by front panel</td> </tr> <tr> <td>Overload Capability (%)</td> <td>150 Continuously 1000 For 1 Cycle</td> </tr> <tr> <td>Manual By-Pass</td> <td>- Electronically controlled - No break assisted re-start procedure</td> </tr> <tr> <td>Back-feed protection</td> <td>NC contact for the control of an external device</td> </tr> </tbody> </table>	5. Bypass		Automatic static by-pass	Electronic Thyristor Switch Three-phase + Neutral	Nominal input voltage (Vac)	380 - 400 - 415	Input voltage range (%)	±10	Input frequency (Hz)	50 - 60	Input frequency range (%)	±10	Transfer mode	Without break	Transfer: Inverter - automatic bypass	In case of: - Short-circuit - Battery discharged - Inverter lost - Inverter failure	Transfer: automatic bypass - Inverter	- Automatic - Block on bypass after 6 transfers within 2 minutes, reset by front panel	Overload Capability (%)	150 Continuously 1000 For 1 Cycle	Manual By-Pass	- Electronically controlled - No break assisted re-start procedure	Back-feed protection	NC contact for the control of an external device																																																					
5. Bypass																																																																													
Automatic static by-pass	Electronic Thyristor Switch Three-phase + Neutral																																																																												
Nominal input voltage (Vac)	380 - 400 - 415																																																																												
Input voltage range (%)	±10																																																																												
Input frequency (Hz)	50 - 60																																																																												
Input frequency range (%)	±10																																																																												
Transfer mode	Without break																																																																												
Transfer: Inverter - automatic bypass	In case of: - Short-circuit - Battery discharged - Inverter lost - Inverter failure																																																																												
Transfer: automatic bypass - Inverter	- Automatic - Block on bypass after 6 transfers within 2 minutes, reset by front panel																																																																												
Overload Capability (%)	150 Continuously 1000 For 1 Cycle																																																																												
Manual By-Pass	- Electronically controlled - No break assisted re-start procedure																																																																												
Back-feed protection	NC contact for the control of an external device																																																																												
Technical data sheet : UPS-LGR-XXX	Updated : 07/02/2018	Page 2/2																																																																											

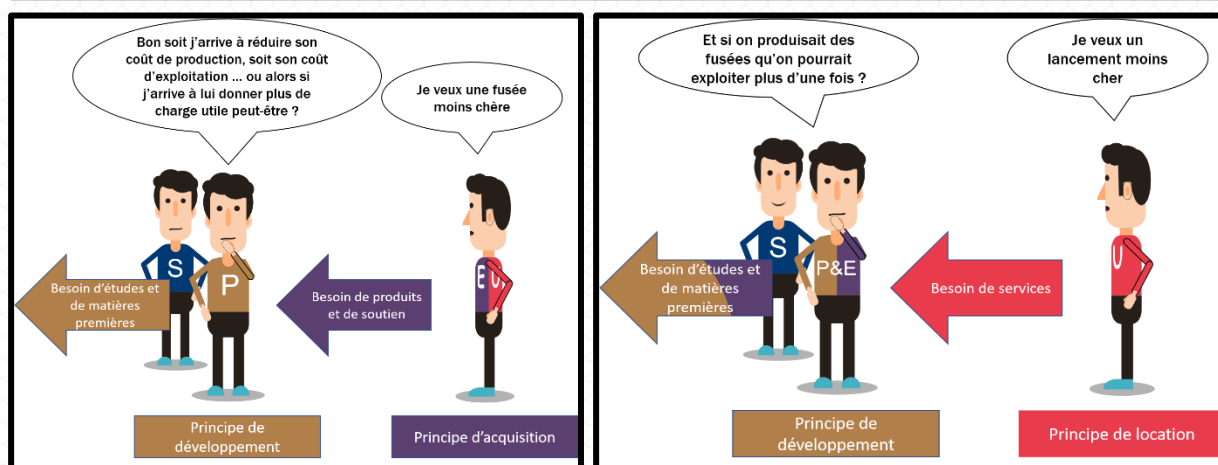
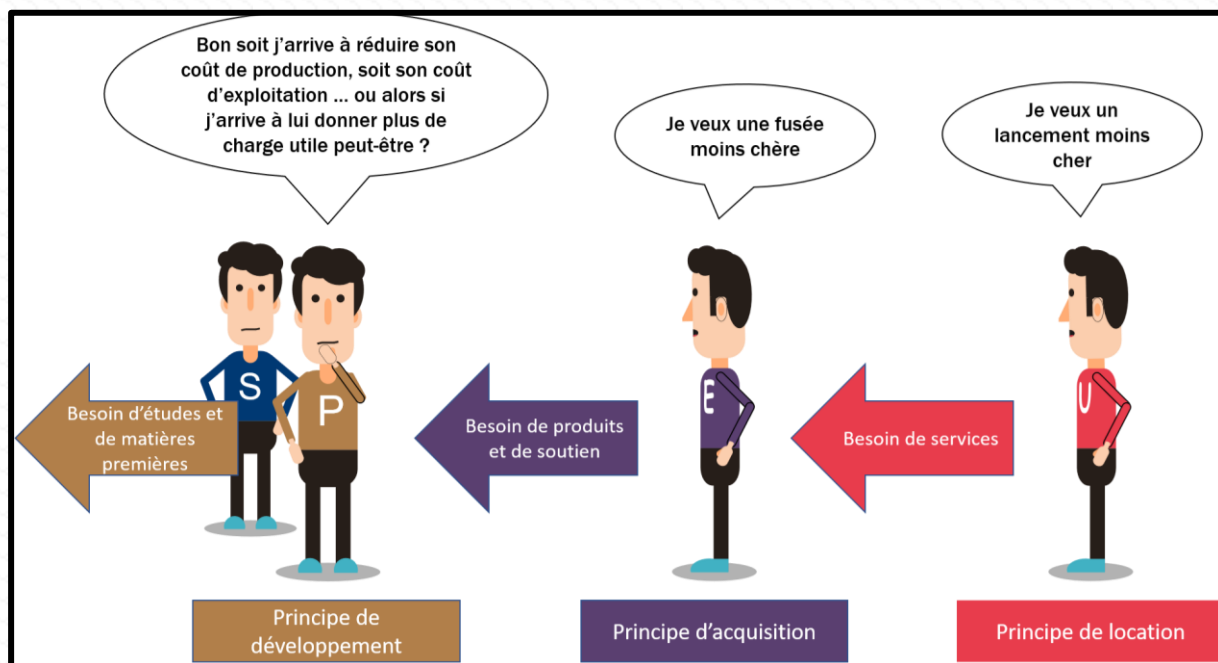
Source : Document technique fournie par Legrand

L'industriel peut ensuite adapter ses produits sur catalogues selon certains besoins clients spécifiques avec des options qui vont concerner la manière d'installer le système sur site, ou de le mettre en service ou même de rajouter des fonctionnalités au besoin. Mais la marge de manœuvre est assez mince, et ces additionnels ne doivent pas non plus remettre en cause les caractéristiques de soutenabilité du système.

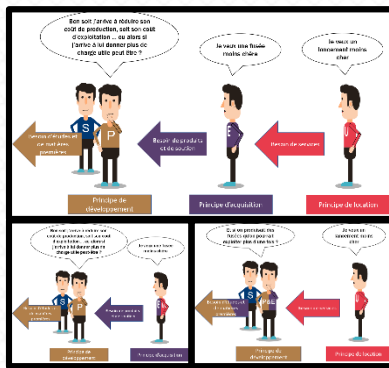
Il n'y a là au final **plus de dialogue comparatif en conception avec le client**, les études peuvent être résumées à une **description documentée du plan de maintenance** déjà en grande partie prédéfinie, et les **coûts de soutien réels sont assez difficiles à visualiser** lorsqu'il s'agit de personnaliser son offre à une organisation exploitante avec des contraintes d'exploitation et des conditions opérationnelles un peu particulières.

Il s'agit donc pour nous maintenant de vérifier si l'approche réductrice et standardisée de la démarche SLI apporte vraiment le plus de pertinence économique pour le client final, et donc de chercher éventuellement des contre-exemples à succès qui nous permettraient d'infirmer cette hypothèse.

PARTIE 2



LE SLI, UNE INSPIRATION POURTANT SOURCE DE SUCCÈS ÉCONOMIQUES MAJEURS DE CES DERNIÈRES ANNÉES



Ces trois illustrations représentent trois scénarios différents^A. Dans la première, nous avons un usager qui a besoin d'un lancement de fusée pour transporter quelque chose dans l'espace (besoin d'un service), il s'adresse donc à un exploitant de fusée pour satisfaire son besoin, mais toujours dans l'espoir que ce lancement ne lui coûte pas trop cher. Nous avons aussi un exploitant qui lui a besoin d'acquérir une fusée (besoin d'un produit) pour satisfaire l'utilisateur et se faire payer, mais il a aussi besoin d'aide pour bien exploiter cette fusée, car il ne l'a pas conçue et ne la maîtrise donc pas complètement. Il s'adresse alors à un concepteur/producteur de fusée pour en acquérir une et l'exploiter, mais toujours dans l'espoir que cette fusée ne lui coûte pas trop cher

pour rester concurrentiel dans sa prestation de services avec l'utilisateur. Enfin, nous avons un concepteur/producteur qui lui a besoin d'études pour développer une fusée, et de matières premières pour la produire, et ainsi la livrer à l'exploitant pour se faire payer. Face à la demande de fusées moins chères et sous la pression de la concurrence, il s'interroge donc sur les moyens pour y parvenir. Ainsi, pour faire baisser le prix de la vente, il peut essayer de réduire les coûts de production en achetant moins cher les matières premières, ou en réduisant les coûts d'études (ce que nous avons vu dans la première partie et qui n'arrange pas les affaires du Soutien Logistique Intégré), ou encore en accélérant la cadence de production. Dans une toute autre mesure, il peut essayer de promettre des coûts d'exploitation moins élevés ou des performances plus importantes pour faire miroiter des bénéfices d'exploitation supplémentaires à l'exploitant, mais ça ne fera pas baisser le prix de vente et il faudra que l'exploitant prenne le risque d'investir plus pour peut-être gagner plus.

Il faut alors ensuite comparer ce premier scénario avec les deux autres juste en dessous. En effet, les deux représentent à peu près la même configuration, sauf un acteur qui est maintenant en situation de double casquette. Le premier à gauche avec un usager/exploitant qui ne change pas fondamentalement la donne, avec toujours un principe d'acquisition des biens à exploiter. Le deuxième à droite avec un producteur/exploitant qui développe et exploite commercialement ses propres systèmes, lui change la donne. En effet, l'utilisateur n'a pas particulièrement besoin de posséder un système pour s'en servir. Ce qui lui importe finalement, c'est plus la jouissance du bien que sa possession, il va donc payer l'usage et non son acquisition. Cet aspect change la donne, puisque la réduction des coûts d'exploitation ou l'augmentation des performances ne constituent plus des promesses de vente, mais des paris de développement à tester en phase d'exploitation, et dont le risque est entièrement assumé par le producteur, et non déporté sur l'exploitant. La position de double casquette producteur/exploitant aide donc puisque le producteur bénéficie du retour d'expérience de la phase d'exploitation pour tester ses paris de développement.

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

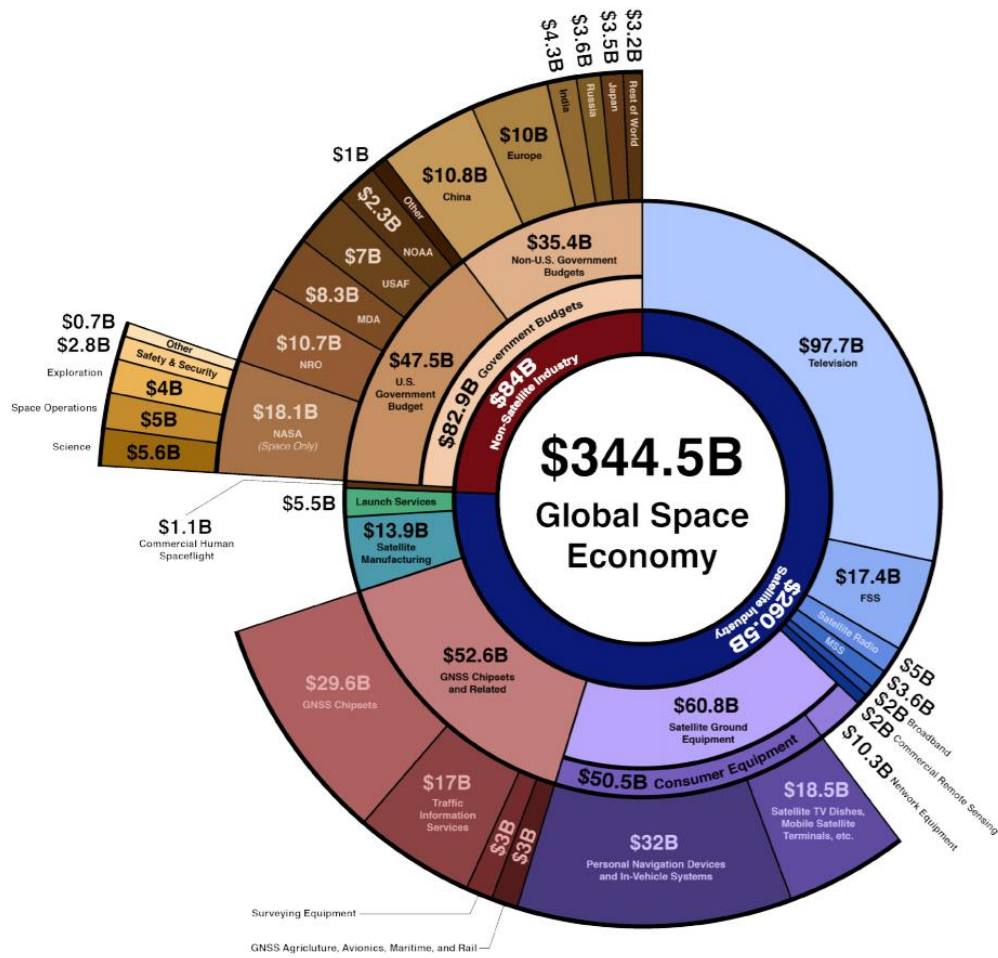
Ici en l'occurrence, dans cette partie, il s'agira de montrer comment l'évincement du principe d'acquisition a permis aux acteurs (SpaceX) de prendre le pari de développement d'augmenter la durée de vie des fusées (en nombre de lancements possibles avec une même fusée) via l'usage d'études de soutien à la conception de celles-ci, et ainsi permettre de « louer » l'usage d'une même fusée à plusieurs clients différents, soit un amortissement du coût de développement/production d'une fusée, non pas sur une seule transaction de lancement, mais sur une dizaine.

[A] Nous représentons ici un usager, un exploitant et un producteur (accompagné de l'expert en soutien). Dans notre représentation, l'utilisateur est une personne qui use d'un service qui lui est accordé pour servir un de ses desseins, il n'a donc pas forcément besoin de maîtriser le fonctionnement interne du système qu'il use. L'exploitant est une personne (ou entreprise) qui assure le fonctionnement et la gestion commerciale d'un service pour des utilisateurs, il a donc un besoin plus prononcé de maîtriser le système qu'il exploite. Le producteur est une personne (ou entreprise) qui produit un bien destiné à être utilisé par un utilisateur final, voir à être exploité commercialement, il doit donc maîtriser complètement le fonctionnement interne du système pour savoir le soutenir ou montrer comment le soutenir.

I. Étude de marché du Spatial : Le succès de SpaceX et des CubeSats

Cet exemple que nous allons décrire pas à pas représente la confrontation de 2 stratégies opposées, l'une choisissant la stratégie des économies d'échelle de production de lanceurs à usage unique à haute fiabilité, ArianeGroup, et l'autre choisissant la stratégie de réduction des coûts de production via l'usage de lanceurs partiellement réutilisables, SpaceX.

IMAGE 26 - L'ÉCONOMIE GLOBALE DE L'INDUSTRIE SPATIALE



Source : FAA. (2018). « The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018 ». p. 15

A. Le Contexte

Le marché du lancement commercial de satellite est assez récent. S'il était totalement dépendant de l'initiative des États à ses débuts, notamment des Etats-Unis et de l'Union Soviétique, et répondait plus à des enjeux scientifiques et politiques que commerciaux, l'essor des télécoms et d'Internet de ces dernières décennies a propulsé le marché sur le devant de la scène et permit l'émergence de nouveaux acteurs privés, SpaceX et Blue Origin notamment^A.

En effet, pour Jean-Yves Le Gall, ancien président du CNES^B d'avril 2013 jusqu'en avril 2021 :

« La donnée transforme de multiples secteurs économiques, mais elle est aussi au cœur d'enjeux sociétaux majeurs comme la souveraineté nationale, la connaissance scientifique, l'adaptation au changement climatique. Et on peut dire qu'aujourd'hui les dimensions économiques, stratégiques et politiques du spatial sont plus importantes que jamais. »^C

Ainsi, ce nouveau besoin digital, voire même cette nouvelle dépendance digitale, avec tous les nouveaux enjeux économiques qu'il engendre, amène aujourd'hui les États à se poser la question de leur souveraineté économique et donc, a fortiori, de leur souveraineté spatiale où la dépendance des économies nationales envers les satellites s'accroît d'année en année. L'ambition spatiale chinoise⁶⁴ (Budget annuel estimé à 8,4 Milliards de dollars en 2017)³¹, la création de la Space Force par Donald Trump en 2019 (Budget estimé à 8 Milliards de dollars)⁴⁹, le budget record de 14.4 Milliards d'euros alloué à l'ESA pour financer ses programmes 2020-2024 et assurer la souveraineté spatiale européenne⁵⁹, ou encore le budget annuel faramineux de 21 Milliards de dollars alloué à la NASA⁴¹ en 2020 sont autant d'éléments qui montrent le regain d'intérêt et d'enjeux du secteur spatial depuis quelques années.

Ces différents chiffres sont à mettre en perspective avec l'économie globale de l'industrie spatiale qui, en 2016 s'élevait à plus de 344 Milliards de dollars^D.

B. Les Acteurs

Nous avons donc comme acteurs du marché, des **Institutions Civiles**^E qui se dédient à l'organisation des activités spatiales nationales, à la recherche scientifique et à l'innovation spatiale dans une certaine ambiguïté de collaboration internationale et de défense des intérêts nationaux. Des **acteurs étatiques** qui financent, bien souvent à perte, les programmes spatiaux dans un intérêt de souveraineté économique nationale, mais aussi et surtout dans un intérêt de défense nationale avec une certaine surenchère de l'armement. Et enfin, des acteurs privés ou semi-privés, qui cherchent à commercialiser leurs activités spatiales, avec un objectif de rentabilité et de profits.

Parmi ces acteurs privés, il faut en distinguer 4 :

[A] SpaceX et Blue Origin appartenant aux riches américains Elon Musk et Jeff Bezos

[B] Centre National d'Études Spatiales

[C] Conférence « L'espace, un outil indispensable de coopération entre les pays », organisé par la Cité de l'Espace, à Toulouse, le 7 Avril 2021

[D] « The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018 ». Federal Aviation administration, 2018. p. 15

[E] NASA, ESA, CNSA, ROSCOSMOS, ...

- **L'opérateur de satellite^A** qui se constitue une flotte de satellites apte à délivrer un service notamment de télécommunication, d'observation de la terre, de localisation et de navigation. Mais l'opérateur peut bien souvent être aussi l'acteur étatique et les institutions civiles, notamment pour les prestations scientifiques, militaires et les services de localisation et navigation, par exemple l'ESA avec le système Galileo.
- **Le constructeur de satellite^B** qui cherche à être compétitif en termes de conception de satellites sur les aspects de performance délivrée, de coûts de conception et de durée de vie.
- **Le constructeur de Lanceurs^C** qui cherche à être compétitif en termes de conception de lanceurs sur les aspects de charge utile transportable en fonction de l'orbite de destination, de fiabilité du lancement, de coûts de lancement et de diversité de missions opérables avec le lanceur.
- **L'opérateur de lancement^D** qui est un acteur un peu plus particulier puisqu'il est souvent en position de double casquette : constructeur et opérateur. Le constructeur est bien souvent celui qui sait le mieux faire décoller son lanceur. Néanmoins, la position géographique du site de lancement, à proximité de l'équateur, est déterminante dans la réussite de mise en orbite des satellites. Ainsi certains pays de constructeur ont un avantage concurrentiel sur ce point. C'est le cas de la France, grâce à son site de lancement à Kourou, en Guyane Française, où Arianespace s'occupe notamment des opérations de lancement de la fusée Soyouz à la place de son constructeur RKK Energia, depuis 2007.

C. Les Segments de marché

Les segments de marché du lancement de satellites se fragmentent selon le type de mission, c'est-à-dire l'orbite visée. Ainsi, le type d'orbite visé et la position du site de lancement influent sur la puissance nécessaire pour l'atteindre. Par ordre de puissance nécessaire, voici les différentes orbites visées :

- **L'orbite terrestre basse (LEO)**, elle permet aux satellites de bénéficier d'un bilan de liaison avantageux en télécommunications et de haute résolution des instruments d'observation. Ainsi c'est l'orbite privilégiée pour les satellites de télédétection type météorologiques à défilement, imagerie terrestre ou de renseignement, pour les satellites de télécommunications et pour les stations spatiales habitées telle la station spatiale internationale (ISS).
- **L'orbite héliosynchrone**, elle permet de bénéficier d'un angle entre le plan de l'orbite et la direction du soleil qui demeure quasiment constant. C'est l'orbite privilégiée pour les satellites d'observations photographiques en lumière visible pour la météorologie, la reconnaissance et la télédétection.
- **L'orbite géostationnaire (GEO)**, elle permet de bénéficier de la même période orbitale que la Terre et ainsi le satellite reste en permanence au-dessus du même point de l'équateur. C'est l'orbite privilégiée pour les satellites de télécommunications, de météorologie et d'alerte avancée qui ont besoin de rester fixe par rapport à tout point de la terre. On peut ainsi s'en servir comme relais permanent entre des stations émettrices et réceptrices pour des liaisons téléphoniques, informatiques ou la diffusion de programme de télévision.
- **L'orbite moyenne (MEO)**, ayant une période orbitale variant de 2 à 12 heures, elle est principalement utilisée par les satellites de navigation dont celui du GPS.
- **L'orbite de transfert géostationnaire (GTO)**, est une mise en orbite temporaire permettant au satellite de rejoindre l'orbite géostationnaire par ses propres moyens de propulsion. C'est une manière d'atteindre la GEO en économisant de l'énergie et donc de l'argent.
- **L'orbite haute**, est principalement utilisée pour les satellites scientifiques.

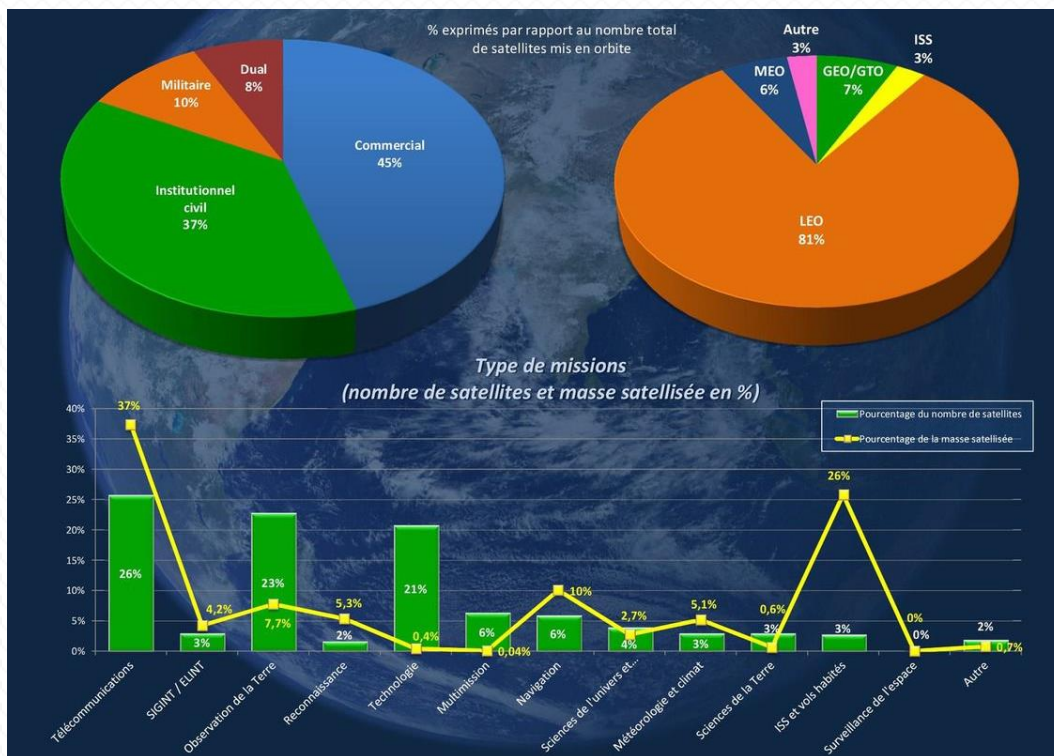
[A] Intelsat, Inmarsat, Eutelsat, Meteosat, ...

[B] Thales Alenia Space, Airbus Defence and Space, Boeing Defense Space & Security, Planet Labs, ...

[C] ArianeGroup, SpaceX, United Launch Alliance, RKK Energia, GKNPZ Khrounitchev, Mitsubishi Heavy Industries, Boeing Defense Space & Security, ...

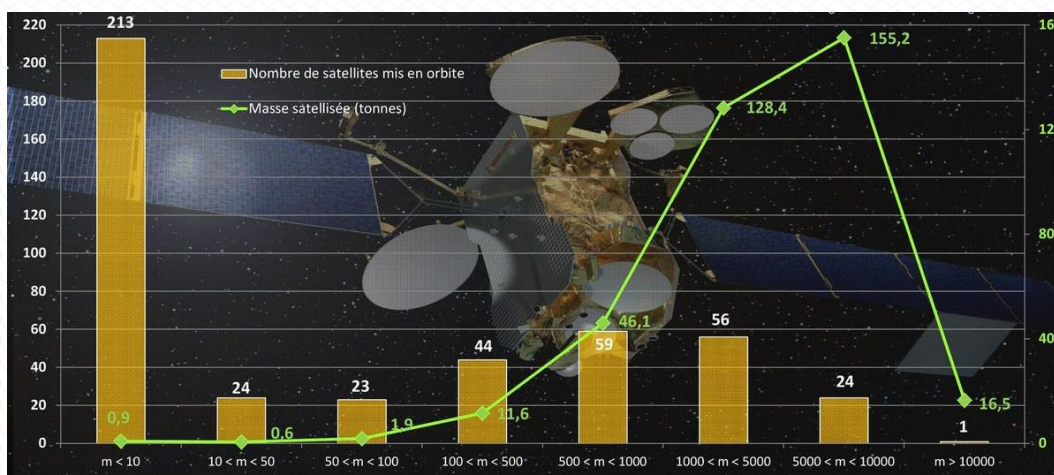
[D] Arianespace, SpaceX, United Launch Alliance, Rocket Lab ...

FIGURE 4 - SATELLITES MIS EN ORBITE EN 2018 SELON LE TYPE DE CLIENTS, L'ORBITE VISÉE ET LE TYPE DE MISSION



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2019

FIGURE 5 - NOMBRE DE SATELLITES ET MASSES SATELLISÉE PAR GAMME DE MASSE EN 2018



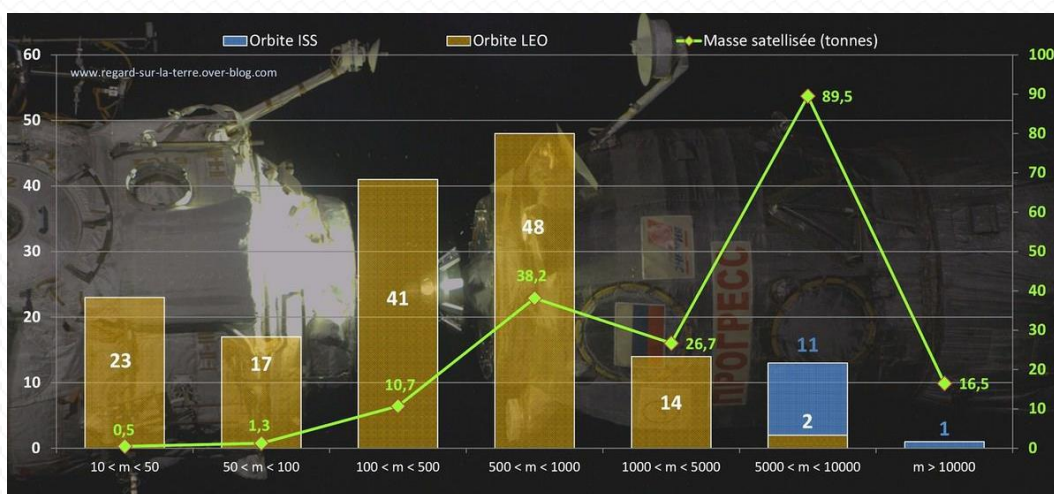
Source : Un autre regard sur la terre.org, 2019

La conception des lanceurs est donc faite en fonction du ou des types de missions visées et de la charge utile transportable pour chacune de ces missions. Intuitivement, on pourrait donc dire que la meilleure fusée serait celle qui peut viser toutes les missions possibles avec le maximum de charge utile possible pour chaque mission. Néanmoins, concevoir une telle fusée, **reviendrait à surdimensionner** les capacités nécessaires aux mises en orbite les plus basses et donc à manquer de compétitivité sur l'optimisation du coût de production. Il n'est ainsi pas rare que les constructeurs proposent plusieurs configurations possibles pour une même fusée, permettant d'adapter les caractéristiques de la fusée, d'optimiser les coûts de production en fonction de la mission visée et donc au final d'élargir le périmètre de marché que peut desservir un constructeur avec son lanceur.

Sur la figure 4, nous pouvons voir qu'en 2018, 413 satellites ont été mis en orbite sur les 114 tentatives de lancement de fusée, dont 45% à destination de clients de type commercial et 81% dont la destination était à une orbite terrestre basse. Les missions principales des satellites mis en orbite étaient pour 26% d'entre elles les télécommunications, 23% pour l'observation de la terre et 21% pour les technologies. À noter que les satellites à vocation technologique ne représentent que 0.4% de la masse satellisée, il s'agit donc de petits satellites de très faible charge, tandis que les charges des satellites de télécommunication et de navigation sont plus conséquentes.

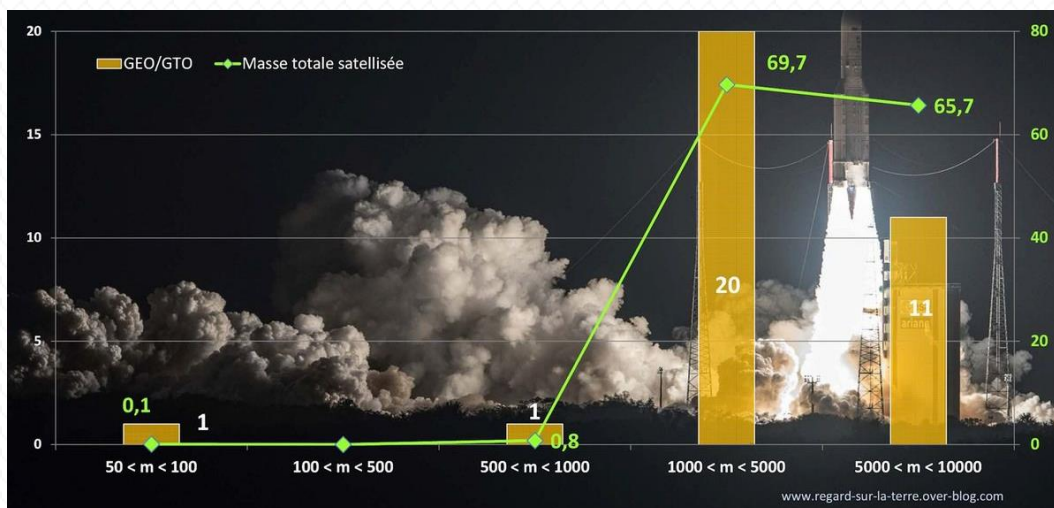
Par ailleurs, nous pouvons constater sur la figure 5 que le marché du lancement de satellite est très disparate avec d'un côté, un très grand nombre de petits satellites de moins de 10 kg (213), mais qui représente seulement 0.25% du total de la masse satellisée. Et de l'autre, un plus petit nombre de satellites de plus d'une tonne (81), mais qui représente plus de 83% du total de la masse satellisée.

FIGURE 6 - NOMBRE DE SATELLITES DE PLUS DE 10 KG MIS EN ORBITES LEO ET ISS EN 2018



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2019

FIGURE 7 - NOMBRE DE SATELLITES MIS EN ORBITE GEO/GTO EN 2018



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2019

La figure 6 nous montre que c'est l'orbite terrestre basse (LEO) qui accueille principalement les plus petits satellites. Les 213 satellites de moins de 10 kg ne sont pas représentés ici, mais ils sont bien tous présents à cette orbite. Tandis que sur la figure 7, nous pouvons voir que les orbites les plus élevées, comme GEO/GTO, demandant plus de puissance de tir et donc plus de coûts de lancement, accueillent, elles, les satellites les plus conséquents en termes de masse.

Nous avons donc, d'un côté, un marché de satellites à fort coût de lancement due à une orbite lointaine et de fortes charges de satellites. Ces deux facteurs, s'ils augmentent, requièrent plus de puissance de poussée nécessaire. Et de l'autre, un marché de satellites à coût de lancement « bon marché », due à une orbite proche et de faibles charges de satellites. Ces deux facteurs, s'ils baissent, requièrent moins de puissance de poussée nécessaire.

FIGURE 8 - UTILISATION DES LANCEURS ENTRE AVRIL 2009 ET MARS 2010

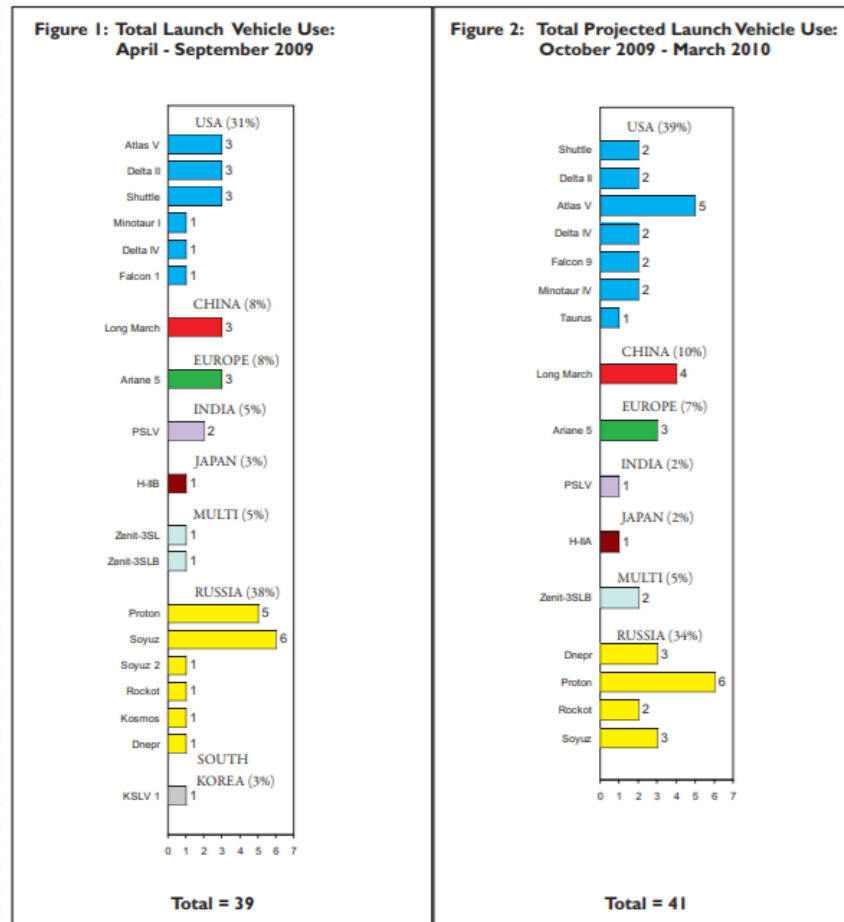


Figure 1 shows the total number of orbital and commercial suborbital launches of each launch vehicle and the resulting market share that occurred from April through September 2009. Figure 2 projects this information for the period from October 2009 through March 2010. The launches are grouped by the country in which the primary vehicle manufacturer is based. Exceptions to this grouping are launches performed by Sea Launch, which are designated as multinational.

Source : FAA. (2009). « Semi-Annual Launch Report: Second Half of 2009 ». p. 4

FIGURE 9 - LANCEMENTS COMMERCIAUX VS LANCEMENTS NON-COMMERCIAUX ENTRE AVRIL 2009 ET MARS 2010

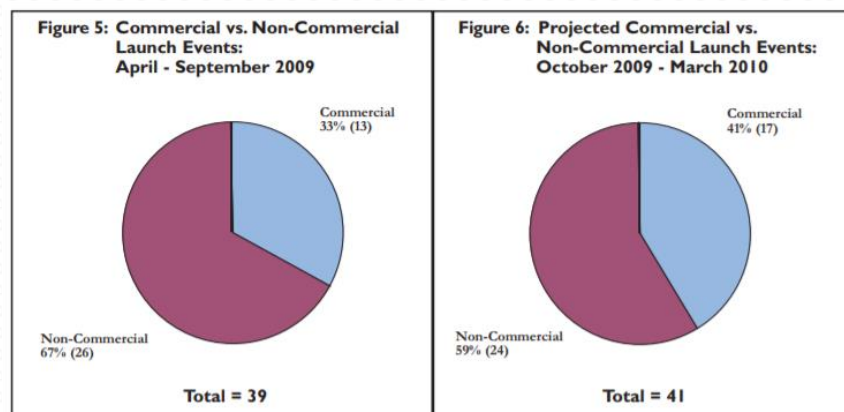


Figure 5 shows commercial vs. non-commercial orbital and suborbital launch events that occurred from April through September 2009. Figure 4 projects this information for the period from October 2009 through March 2010.

Source : FAA. (2009). « Semi-Annual Launch Report: Second Half of 2009 ». p. 5

D. Les Évolutions du marché

1. La situation en 2009

Ces graphiques montrent l'utilisation des différents lanceurs entre avril et septembre 2009, ainsi que la projection estimée pour les 6 mois suivants.

Nous pouvons donc ainsi constater qu'en 2009, le marché était très concentré du point de vue de l'appartenance nationale des lanceurs, avec une prédominance des lanceurs américains et russes. L'Europe est aussi présente sur le marché, mais a rassemblé ses investissements et ses moyens sur un unique lanceur d'Arianespace. Tandis que la Chine en est encore à ses débuts avec son programme national de lanceur Long March. À noter tout de même la présence d'une multitude de lanceurs nationaux, comme en Inde, au Japon ou en Corée du Sud, mais ils sont très peu utilisés en comparaison.

Ces graphiques montrent la part des lancements Commerciaux et non-Commerciaux entre avril et septembre 2009, ainsi que leur projection estimée sur les 6 mois suivants. Nous parlons de lancement commercial lorsque la mission est pour le compte d'un acteur privé, et non-commercial lorsqu'elle est pour le compte d'un État ou d'une Institution civile public.

Comme nous pouvons le voir, en 2009, le marché était majoritairement entretenu par les programmes spatiaux nationaux. Les lancements commerciaux ne représentaient que 33% du marché, même si en projection, une certaine croissance de ceux-ci était attendue.

FIGURE 10 - TENDANCES DE LANCEMENT COMMERCIAL ENTRE OCTOBRE 2008 ET SEPTEMBRE 2009

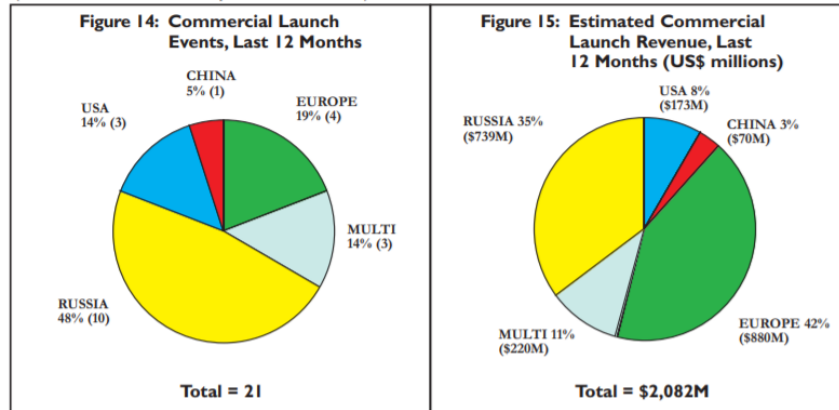


Figure 14 shows commercial orbital launch events for the period from October 2008 through September 2009 by country.

Figure 15 shows estimated commercial launch revenue for orbital launches for the period from October 2008 through September 2009 by country.

Source : FAA. (2009). « Semi-Annual Launch Report: Second Half of 2009 ». p. 5

PHOTO 2 : MAQUETTE D'ARIANE 5 DE LA CITÉ DE L'ESPACE



Source : Photo prise par Julien Deroubaix, le 19 août 2021 à Toulouse

Ces graphiques représentent la part des événements de lancement commerciaux par pays en 2009, dont nous avons vu qu'ils étaient minoritaires, ainsi que l'estimation des revenus des lancements commerciaux par pays sur la même période.

Ainsi, dans le secteur des lancements commerciaux, c'était la Russie qui prédominait le marché en quantité de lancements effectués (10), suivi de loin par l'Europe (4). Tandis que les USA étaient à la traîne avec seulement 3 lancements. En effet, les lanceurs américains, en 2009, étaient plus dédiés à des missions non-commerciales. Pour autant, en termes de revenus estimés, c'est l'Europe qui prédomine (42%), suivi des Russes (35%) et enfin des Etats-Unis (8%).

L'Europe réalise un nombre limité de lancement, mais ils sont à des prix élevés, la Russie en effectue beaucoup plus, mais à des prix plus bas. Ceci s'explique en fait, par le fait que le lanceur Ariane 5 transporte des satellites à plus forte valeur ajoutée et à des orbites plus élevées et donc plus coûteuses. Tandis que les lanceurs russes, Soyuz par exemple, transportent des satellites plus petits, à plus faible valeur ajoutée et à des orbites plus basses et donc moins coûteuses.

On a donc 2 tendances sectorielles qui se dessinaient déjà, le **marché des lancements à forte valeur sur l'orbite géostationnaire** généralement, dont l'acteur principal était Arianespace. Et le **marché des lancements à faible valeur sur l'orbite terrestre basse** généralement, dont l'acteur principal était Roscosmos.

FIGURE 11 - HISTORIQUE DES LANCEMENTS COMMERCIAUX ENTRE JANVIER 2004 ET DÉCEMBRE 2008

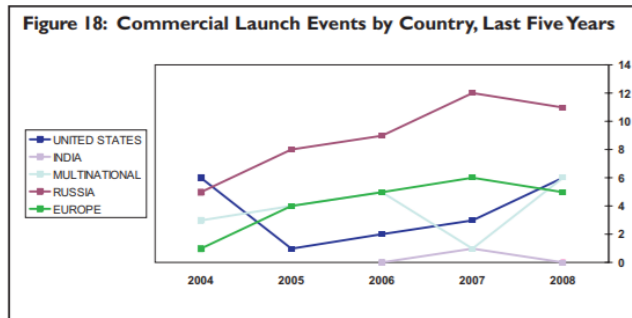


Figure 18 shows commercial launch events by country for the last five full calendar years.

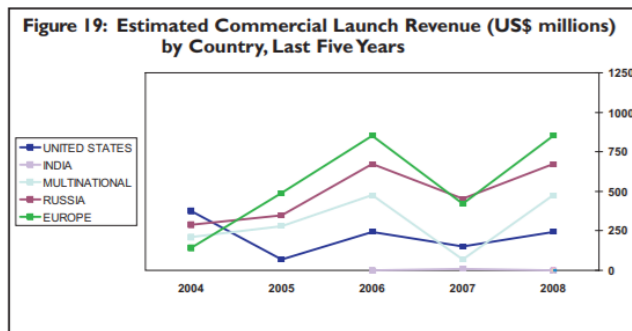


Figure 19 shows estimated commercial launch revenue by country for the last five full calendar years.

Source : FAA. (2009). « Semi-Annual Launch Report: Second Half of 2009 ». p. 9

FIGURE 12 - SUCCÈS DE LANCEMENT VS ÉCHECS DE LANCEMENT ENTRE AVRIL 2009 ET SEPTEMBRE 2009

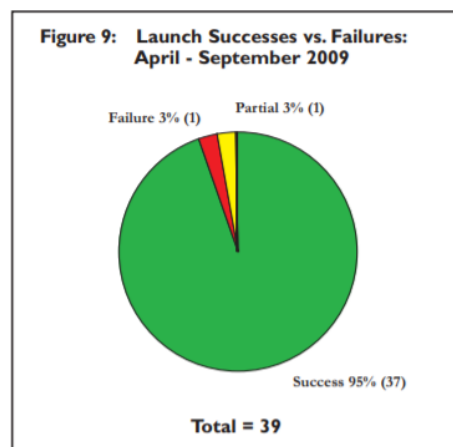


Figure 9 shows orbital and commercial suborbital launch successes vs. failures for the period from April through September 2009. Partially-successful orbital launch events are those where the launch vehicle fails to deploy its payload to the appropriate orbit, but the payload is able to reach a useable orbit via its own propulsion systems. Cases in which the payload does not reach a useable orbit or would use all of its fuel to do so are considered failures.

Source : FAA. (2009). « Semi-Annual Launch Report: Second Half of 2009 ». p. 7

Ces deux graphiques représentent les mêmes données que les précédents, mais sur la période 2004 à 2008 cette fois-ci. Ils nous permettent ainsi de confirmer la récurrence annuelle de la situation de marché décrite précédemment, avec les lanceurs russes en tête des nombres de lancements et le lanceur européen en tête des revenus estimés. Néanmoins, cela reste une situation encore récente datant de 2005, et donc encore fragile.

Ce graphique représente les pourcentages de lancements effectués avec succès par rapport à ceux effectués avec échecs sur la période d'Avril à Septembre 2009. Nous pouvons constater une écrasante majorité de lancements avec succès (94%), tandis que seulement 6% d'entre eux ont résulté à un échec total ou partiel. Nous avons donc un marché où la réussite de la mission constitue un élément primordial pour les acteurs. En effet, cela est principalement dû à la base des coûts de lancement. Selon une estimation de la FAA, le coût de lancement d'une Ariane 5 s'évalue à 178 Millions de dollars^A, tandis qu'une Soyouz avoisine les 50/60 Millions de dollars dans sa configuration la moins coûteuse^B, même si très peu de sources permettent de le confirmer. Cela, combiné avec le faible nombre de lancements annuels et la forte valeur des satellites transportés, le marché du lancement spatial n'a pas le droit à l'erreur et le succès de la mission constitue un objectif vital pour la continuité de l'activité.

[A] « *The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018* ». Federal Aviation administration, 2018. p. 122

[B] « *The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018* ». Federal Aviation administration, 2018. p. 228

FIGURE 13 – HISTORIQUE DES LANCEMENTS COMMERCIAUX ORBITAUX PAR QUANTITÉ ET PAR SECTEUR D’ACTIVITÉ DEPUIS 2008 JUSQU’À UNE PROJECTION EN 2027

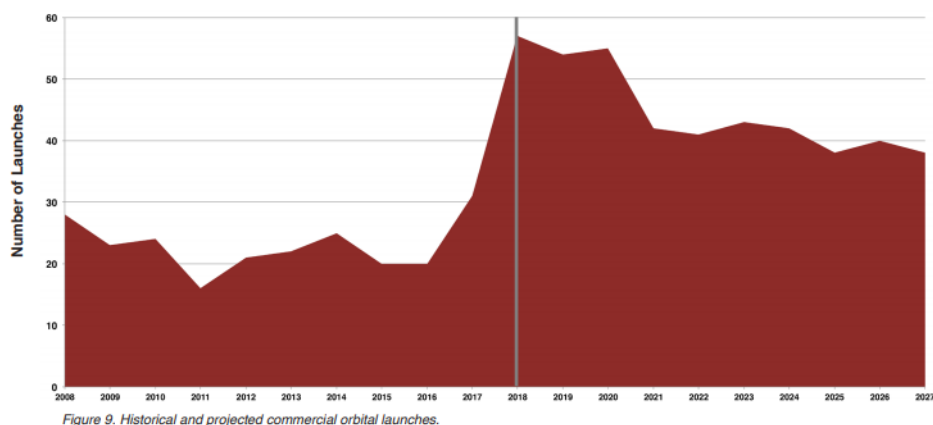


Figure 9. Historical and projected commercial orbital launches.

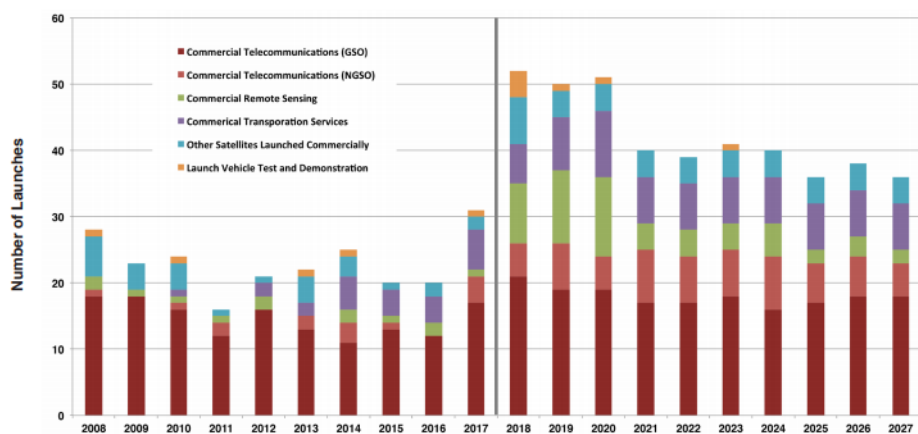


Figure 10. Historical and projected commercial orbital launches by industry segment.

Source : FAA. (2018). « The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018 ». p. 52

FIGURE 14 : HISTORIQUE DES LANCEMENTS COMMERCIAUX ORBITAUX PAR DESTINATION ORBITALE DEPUIS 2008 JUSQU’À UNE PROJECTION EN 2027

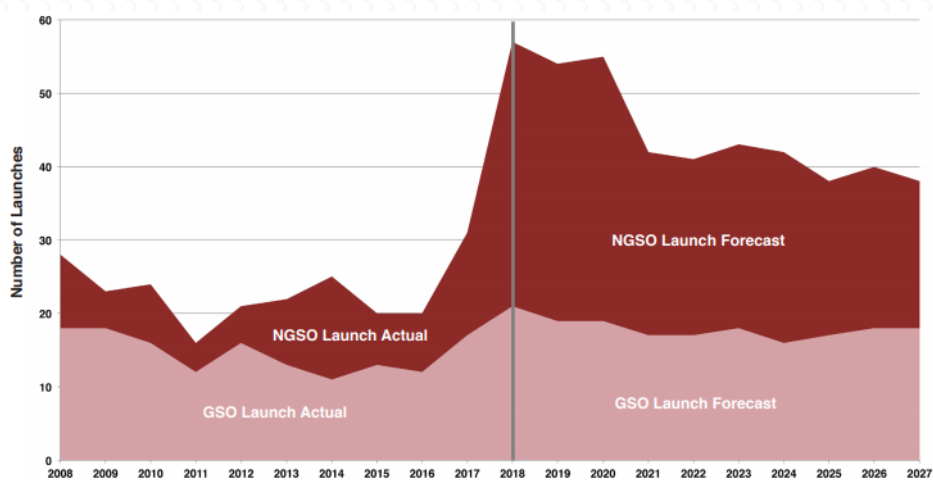


Figure 11. Historical and projected commercial orbital launches by orbital destination.

Source : FAA. (2018). « The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018 ». p. 53

2. L'évolution depuis 2009

Ces 2 graphiques représentent l'évolution du nombre de lancements commerciaux annuels depuis 2008 jusqu'à une projection en 2027. Le 2^{ème} graphique détaille en plus la part des différents types de prestations. Nous pouvons ainsi constater une relative stabilité du marché entre les années 2008 et 2016, oscillant autour de 20 lancements annuels. Nous pouvons voir aussi que sur cette même période, les satellites commerciaux de télécommunications en orbite géostationnaire (GEO = GSO en anglais) constituent la principale clientèle de la prestation de mise en orbite. C'est dans les années 2017/2018 qu'il y a un réel pic d'activité, avec plus de 50 lancements commerciaux planifiés en 2018, soit plus du double du rythme habituel des années précédentes. Si bien qu'en 2018, les lancements commerciaux planifiés de satellites de télécommunications en GEO représentent à eux seuls, plus de lancements que l'ensemble des lancements effectués sur l'année 2016. Pour autant, les satellites de télécommunications (GEO) ne sont plus majoritaires et les autres types de prestations se sont aussi développés, tels les satellites de télédétection (Remote Sensing), les satellites de télécommunications NGSO (= Non GEO), les services de transports cargo et équipage et les autres types de satellites commerciaux.

Qu'est-ce qui explique cette croissance ?

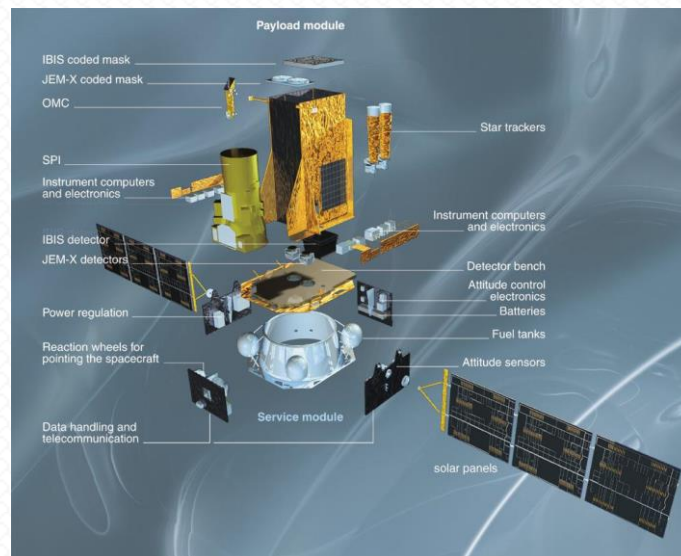
La figure 14, elle, représente le nombre de lancements annuels de satellites en orbite GEO par rapport aux autres orbites depuis 2008 jusqu'à une projection en 2027. Ce graphique nous permet d'apporter un premier élément d'explication. La croissance de lancements commerciaux de satellites est principalement due à une croissance de lancement de satellite en orbite NGSO, et plus particulièrement en orbite terrestre basse (LEO).

Cette croissance du marché en orbite basse s'explique en fait par deux avancées technologiques :

- **Les CubeSats, la simplification et miniaturisation des instruments au service d'une optimisation des coûts de production et de lancement**

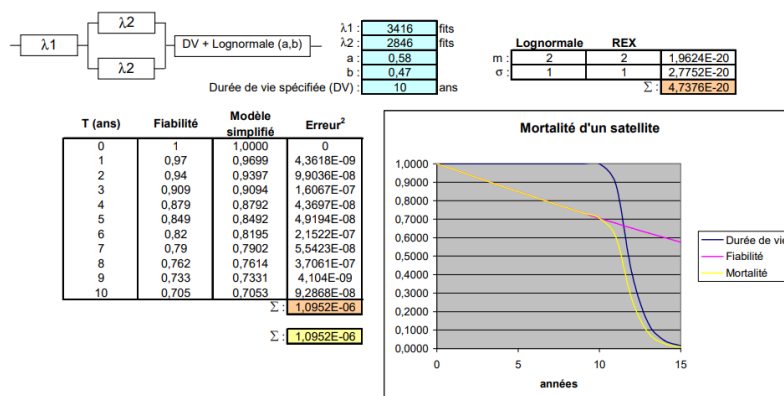
Un des éléments qui limite fortement le marché des satellites est leur durée de vie. En effet, les satellites artificiels se constituent de composants électroniques pour accomplir leur mission, ce qui induit donc des paramètres variables de fiabilité et de durée de vie. La contrainte du milieu hostile qu'est l'espace, amène à une complexité d'intervention de maintenance et de soutien logistique qui rend difficile l'amortissement de leurs coûts. Ainsi, il s'agit de construire des satellites assez fiables pour ne pas nécessiter de soutien logistique externe. Le satellite doit se maintenir en disponibilité opérationnelle le plus longtemps possible et de manière autonome. C'est donc au moment de la conception que ces paramètres vont être optimisés et depuis quelques décennies, c'est toute une filière d'industriels spécialisés en ingénierie et en technologie spatiale qui s'est développé, s'appuyant sur des laboratoires de recherche et sur une méthodologie de Soutien Logistique Intégré au satellite bien spécifique.

SCHÉMA 20 - ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES D'UN SATELLITE CLASSIQUE



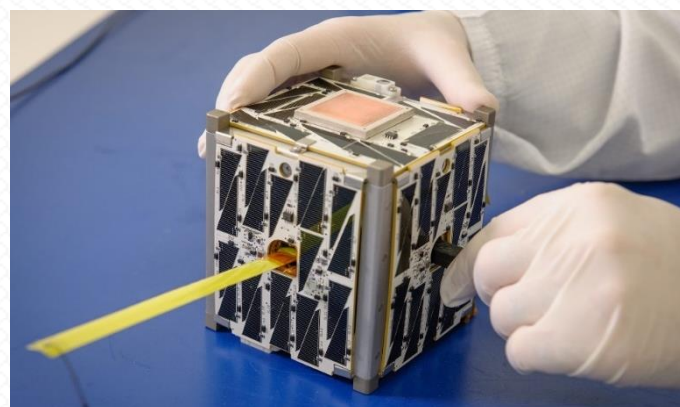
Source : INTEGRAL Science Data Centre

FIGURE 15 - MODÈLE DE MORTALITÉ D'UN SATELLITE



Source : Cabinnovation

PHOTO 3 - MODÈLE D'UN CUBESAT CLASSIQUE



Source : NASA

Le Satellite est ainsi constitué de deux sous-ensembles :

- **La charge utile** (système principal) qui se compose des instruments nécessaires à l'accomplissement de la mission. Il s'agit ici, de caméra ou de radar pour l'observation de la terre ou de transpondeurs pour la télécommunication.
- **La plate-forme, ou module de service** (système de soutien) qui soutient la charge utile et lui fournit les ressources pour son fonctionnement. Il s'agit ici, de panneaux solaires pour l'électricité, de propulseurs pour adapter l'orbite ou modifier l'orientation du satellite, ou encore de systèmes de régulation thermique pour notamment dissiper la chaleur générée par le satellite par rayonnement^A.

Néanmoins, malgré les avancées technologiques, **les satellites sont arrivés à un palier maximum de durée de vie, tournant autour des 15 à 20 ans**. En effet, le satellite est soumis à un environnement hostile, la basse pression du vide presque absolu fait sublimer les atomes superficiels des solides et cela bloque les mécanismes. Les éruptions solaires et les rayons cosmiques affectent la performance des équipements électroniques, tout comme les particules énergétiques des vents solaires de la ceinture de Van Allen qui peuvent dégrader la fiabilité des composants du satellite par des décharges électrostatiques, source de pannes. Enfin, si en théorie les satellites suivent une trajectoire nominale parfaite et identique dans le temps, en pratique, ils subissent un infime freinage orbital qui crée des décalages et ils nécessitent régulièrement l'usage « d'ergols »^B pour propulser et réorienter leur orbite ou leur position par rapport à la terre.

Ainsi, que ce soit par l'épuisement du stock d'ergols, l'épuisement des batteries via une répétition de cycles de charge/décharge, l'épuisement du liquide de refroidissement pour certains satellites ou encore par les pannes de l'électronique, la durée de vie des satellites a atteint un plancher. Dès lors, puisque l'amortissement du coût des satellites ne peut plus passer par une extension de la durée de leur exploitation, il ne reste soit qu'à vendre plus cher les prestations fournies par les satellites^C, soit qu'à réduire les coûts de production et de mise en orbite de ces satellites.

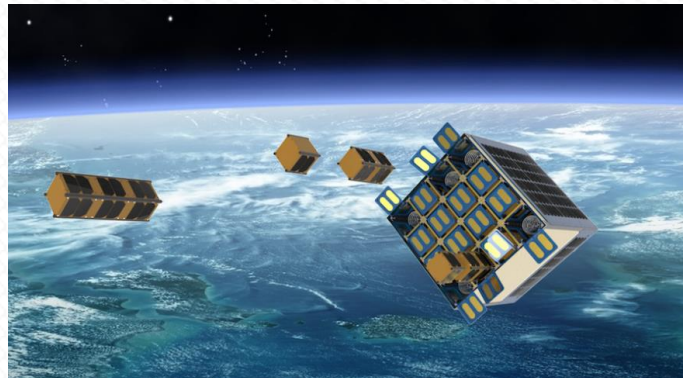
C'est là qu'intervient l'arrivée de l'innovation des CubeSats ou MicroSats, qui sont des nano-satellites où la charge utile et le module de service sont miniaturisés à leur maximum, pour réduire les dimensions et le poids du satellite à leur minimum. Il s'agit ici de satellites normés pesant entre 1 et 10 kg. **La standardisation des caractéristiques externes** (le Cube), comme cela a pu être fait dans le domaine maritime avec le conteneur, permet ainsi de **faciliter leur installation sur les lanceurs et d'en optimiser le remplissage**. En effet, il peut souvent arriver qu'un lanceur ne soit pas rempli à son maximum du fait des caractéristiques externes du ou des satellites transportés ou de par un manque de petits satellites pouvant compléter la charge utile du lanceur. Les CubeSats peuvent ainsi venir remplir la charge utile d'un lanceur, en complément d'un plus gros satellite transporté, ce qui permet de récupérer la perte financière de l'espace non rempli sur un lancement.

[A] Autrement, la chaleur ne peut s'échapper dans le vide de l'espace.

[B] Le carburant des satellites

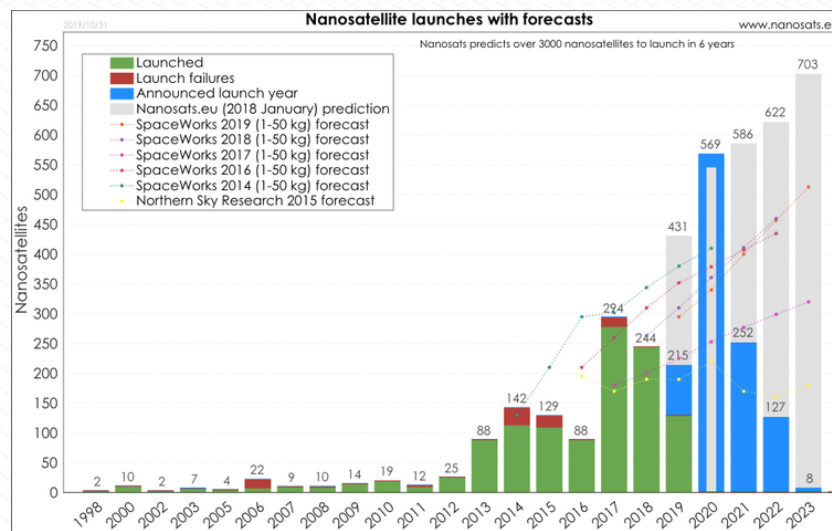
[C] Ce qui est difficilement réalisable dans un marché concurrentiel

PHOTO 4 - ION CUBESAT CARRIER



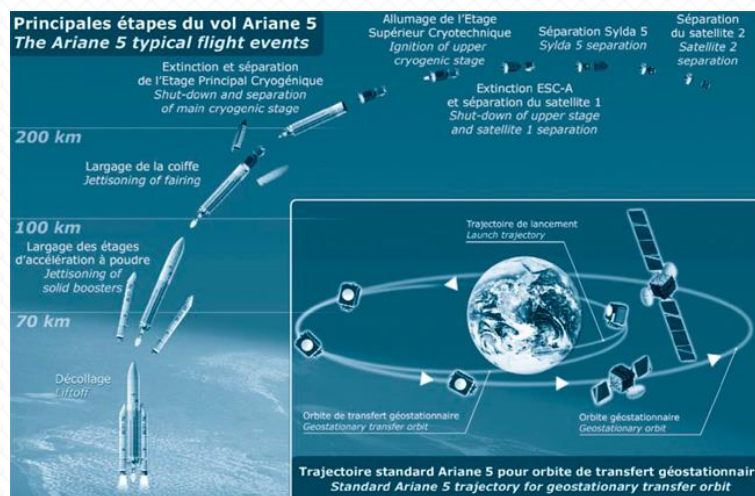
Source : D-Orbit, 2020

FIGURE 16 - NANOSATELLITE LANCÉS DEPUIS 1998 JUSQU'À UNE PROJECTION EN 2023



Source : Nanosats.eu, 2020

SCHEMA 21 - PRINCIPALES ÉTAPES D'UN VOL CLASSIQUE D'ARIANE 5



Source : Ariespace, 2013

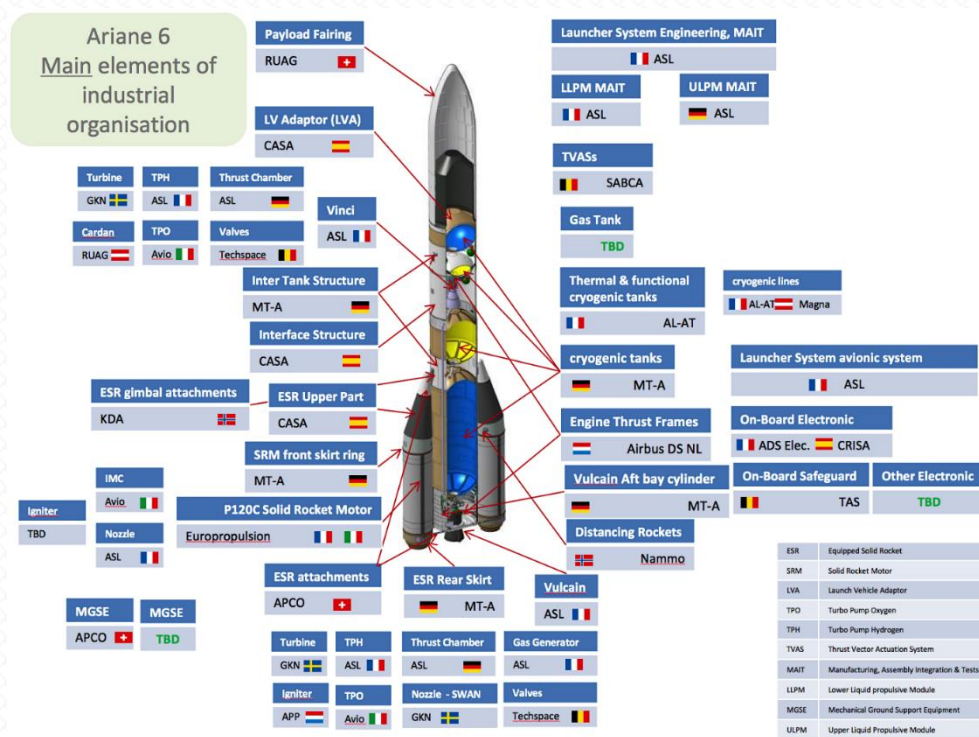
De plus, du fait de leur petite taille et de leur poids léger, **les CubeSats permettent de segmenter le tarif du lancement en de multiples lots à prix réduits**, élargissant ainsi l'offre aux plus petits clients ne pouvant se permettre d'investir dans un lancement à plusieurs millions de dollars. Le tarif de lancement d'un CubeSat varie entre 50 000 et 200 000 Dollars selon la taille et l'orbite visée. On parle en fait ici d'une démocratisation de l'accès à l'espace, engendrant plus de demande et donc plus de cadence de tir de lanceur, ce qui permet à leur tour aux lanceurs d'optimiser les coûts de production et de lancement des fusées.

Ce graphique représente le nombre de microsattellites lancés annuellement depuis 1998 jusqu'à des prévisions en 2023. On peut constater une croissance fulgurante du marché, passant de seulement 12 Microsattellites lancés en 2011 à plus de 294 en 2017. Et selon les prévisions, le marché atteindrait 703 Microsattellites lancés en 2023. On retrouve aussi une croissance importante sur les années 2017/2018, ce qui corrèle bien avec la croissance des lancements commerciaux de satellites en NGSO sur la même période, précédemment étudié. Ce qui nous permet donc de valider ce premier élément explicatif pour la hausse du marché des lancements de satellite. Mais ce n'est pas suffisant, s'il y a bien une augmentation de la demande, il faut aussi une augmentation de l'offre de lancement pour concrétiser cette hausse.

- **Le modèle du « Re-Use » de SpaceX, l'optimisation des coûts de lancement par la réutilisation des lanceurs**

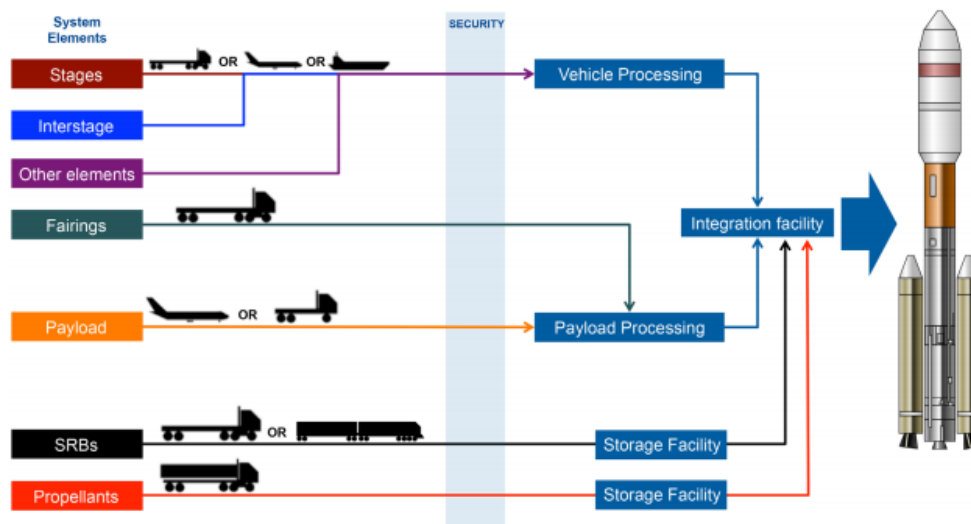
Le lancement orbital de satellite est une tâche ardue. Le lanceur doit s'élever au-delà des couches denses de l'atmosphère terrestre (environ 200 km) et doit pouvoir par la suite, impulser une vitesse horizontale d'environ 8 à 9km/s à sa charge utile pour réussir sa mission. Le lanceur est soumis à de telles conditions extrêmes que jusqu'à récemment, on ne pouvait effectuer qu'un seul tir avec un lanceur. Ainsi, **la perte du lanceur après chaque tir constitue un frein important au développement du marché spatial**, dans la mesure où le nombre de lancements annuels par lanceur est très peu flexible et totalement dépendant des capacités de production du constructeur.

SCHÉMA 22 - PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE L'ORGANISATION INDUSTRIELLE D'ARIANE 6



Source : ESA, 2017

SCHÉMA 23 - UN SCHÉMA TYPIQUE D'INTÉGRATION ET DE PROCESSUS LOGISTIQUES D'UN LANCEUR



Source : FAA. (2018). « The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018 ». p. 15

D'autant plus que **les lanceurs sont des engins complexes nécessitant la maîtrise d'une multitude de technologies avancées**, notamment dans les domaines de la métallurgie, de l'électronique et de la chimie. Tout cela requiert de grands moyens financiers, des savoirs-faires industriels spécialisés, des moyens logistiques adaptés et très particuliers et **une assurance certaine d'un carnet de commande bien rempli à long terme**, ce qui n'est pas toujours le cas.

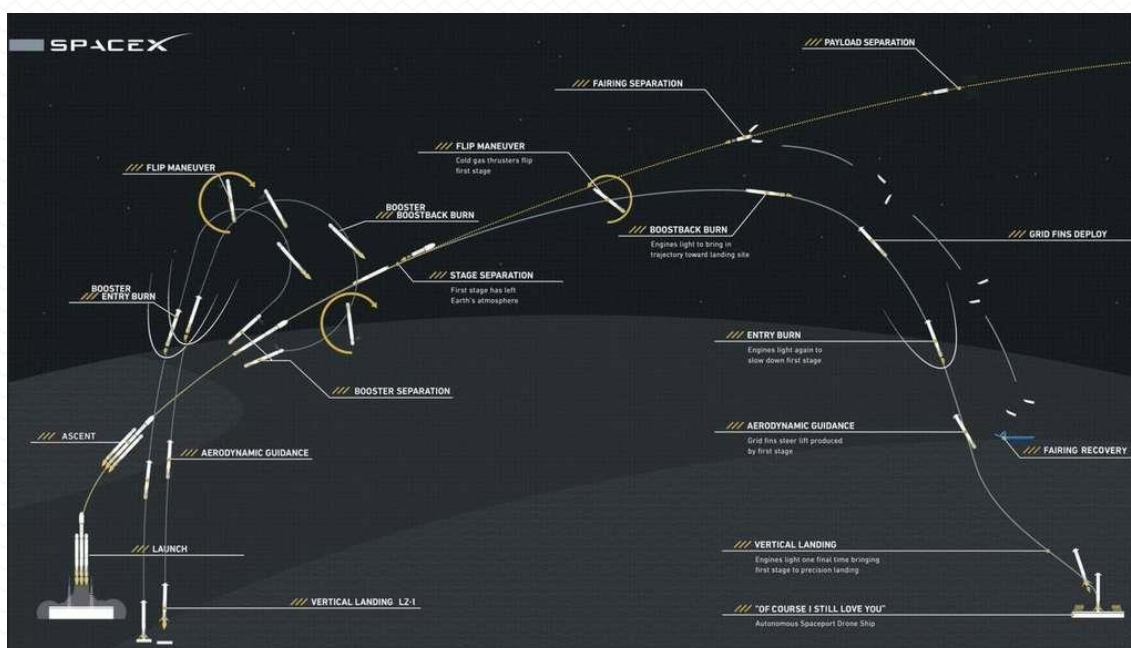
Concrètement, c'est donc un marché qui a pendant longtemps été subventionné pour se développer, et c'est toujours le cas. Des subventions en amont, via les institutions civiles, type ESA, CNES, pour financer le développement d'un tissu industriel spatial national et des sous-traitants hautement qualifiés. Et en aval, l'entretien des capacités industrielles via des commandes publiques de lancement de satellites scientifiques et militaires. En effet, « le lancement de satellite représente un poids non-négligeable pouvant atteindre près d'un tiers du coût global en utilisant Ariane 5 par exemple. »^A

La réduction des coûts de lancement est donc non seulement un levier de compétitivité majeur du marché, mais aussi un levier de développement du secteur commercial du marché. Ainsi entre 2009 et 2020, deux stratégies de réduction des coûts de lancement se sont opposées. Celle d'Arianespace contre celle de SpaceX.

Arianespace a adopté la **stratégie de réduction des coûts via des économies d'échelle**, notamment en augmentant la cadence de ses lancements⁶¹. Là où elle faisait 4 à 5 lancements sur une année, en 2012, elle en a fait 10, lui permettant de diminuer les périodes creuses du site de lancement et de réduire ses coûts de 20%. Cette montée en cadence a été possible grâce à l'accord avec Roscosmos, permettant d'accueillir les activités de lancement de la fusée Soyouz sur le site de Kourou, grâce à la sortie de la fusée Vega, un lanceur pour petits satellites de l'ordre de 1,5 tonnes de charge utile, mais aussi grâce à des optimisations d'ordre organisationnelles, tel qu'un nouveau bâtiment d'intégration lanceur positionné horizontalement, et non pas verticalement, qui permet ainsi d'assembler deux lanceurs simultanément (20 jours d'assemblage diminués à 10). Reste tout de même les 12 jours dédiés à l'intégration du ou des satellites et 24 heures de préparation au lancement. Ces économies permettent à Arianespace de facturer le lancement d'une Ariane 5 entre 70 et 120 millions d'euros selon les configurations et la mission ciblée.

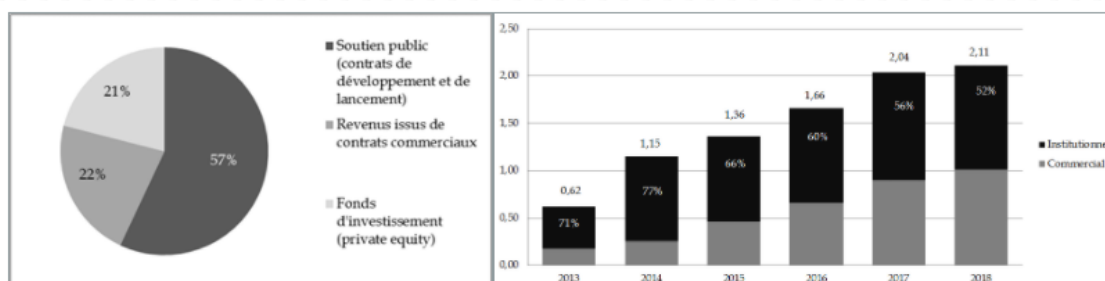
[A] Industrie-techno. (2017). Comment les acteurs du marché des satellites cherchent à réduire les coûts. Consulté le 14 février 2021. <https://www.industrie-techno.com/article/comment-les-acteurs-du-marche-des-satellites-cherchent-a-reduire-les-couts.49604>

SCHÉMA 24 - PRINCIPALES ÉTAPES D'UN VOL CLASSIQUE DE FALCON 9



Source : SpaceX, 2019

FIGURE 17 - PART DES LANCEMENTS INSTITUTIONNELS ET COMMERCIAUX DE SPACE X ENTRE 2013 ET 2018, COMPARÉS À LA RÉPARTITION DE SES SOURCES DE CHIFFRE D'AFFAIRES



À droite : chiffre d'affaires de SpaceX et part des lancements institutionnels

Source : Sénat, 2019

SpaceX adopte, lui, la **stratégie de réduction des coûts via la réutilisation** de tout ou partie du lanceur et en particulier du premier étage. Il ne s'agit pas ainsi de produire des lanceurs « one shot » mais de produire des lanceurs qui peuvent être utilisés le plus longtemps possible, soit à peu près 5 à 10 lancements par fusée. Ces réutilisations permettent d'économiser des coûts de production, ce qui est récupéré, n'est plus à produire.

Concrètement, un rapport sénatorial de novembre 2019 avance des chiffres :

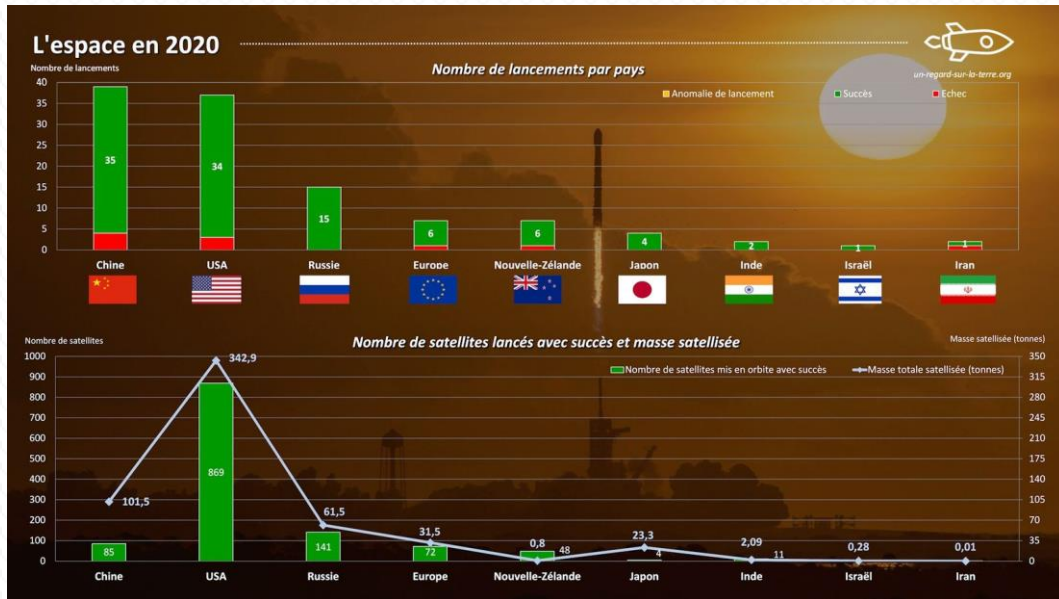
« Le premier étage neuf coûte environ 18 millions de dollars, ce qui représente environ 40 % du coût total d'un lancement de Falcon 9. Avec un coût de remise en état de l'ordre d'un million de dollars et une dizaine de réutilisations, le coût moyen d'un premier étage qui serait utilisé dix fois serait de 2,8 millions de dollars, soit un coût de lancement de 29 millions de dollars et donc une économie de 34 %. »^A

Néanmoins, nous ne savons pas combien coûte cette fameuse remise en état par manque de transparence de la part de SpaceX. Ce que nous savons, c'est que c'est en 2016 que SpaceX a réussi à mettre au point la récupération du premier étage via une barge flottante, et qu'à partir de cette année-là, les tarifs de lancement commerciaux de satellites en orbite GTO de SpaceX oscillaient entre 50 et 60 Millions de dollars³², soit une **division par 3** des tarifs du marché, et notamment du tarif de 150 millions d'euros de l'Ariane 5 ECA.

Un tarif agressif donc, mais qui cache tout de même une politique de subventions publiques par l'État américain. En effet, SpaceX bénéficie de coup de pouce de la part des institutions américaines avec des prix plus élevés sur les contrats qu'elle lui octroi comme celui avec l'US Air Force depuis mai 2015, avec un tarif fixe de 96 millions de dollars. Cette surfacturation avec les institutions américaines lui permet de sous-facturer sur les lancements privés, notamment sur le marché européen. Ce qui lui permet de gagner des contrats face à Arianespace. Il suffit de regarder les graphiques de la figure 17 pour constater cette disproportion entre la part des lancements institutionnels/commerciaux et la part d'origine de ses revenus sur son chiffre d'affaires.

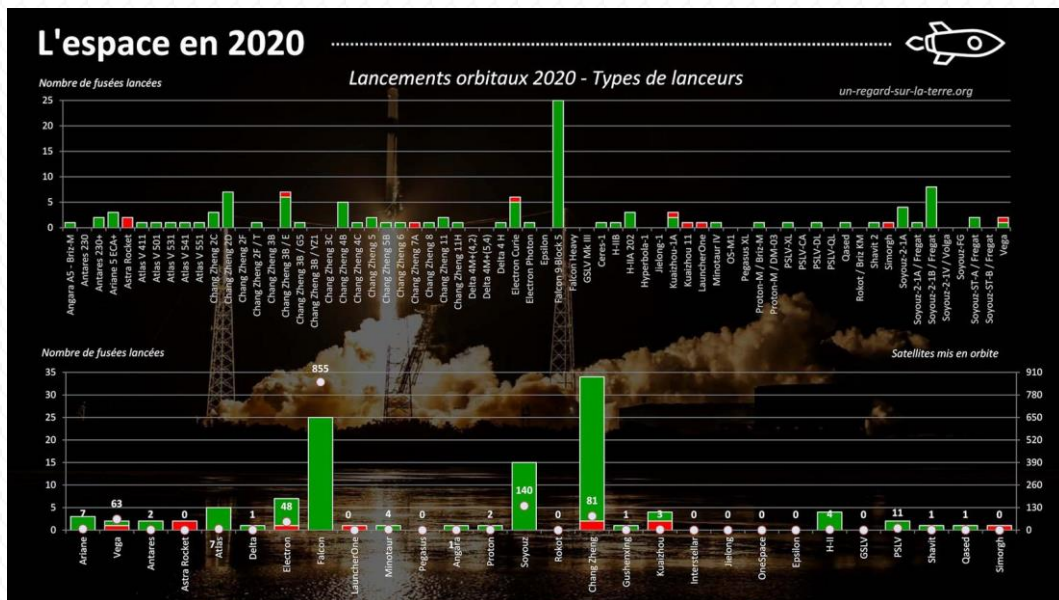
[A] S. Primas, J.-M. Bockel. (2019-2020). *Rapport d'information. Sénat*. p. 46

FIGURE 18 - NOMBRE DE LANCEMENTS PAR PAYS ET NOMBRE DE SATELLITES LANCÉS AVEC SUCCÈS ET MASSE SATELLISÉE EN 2020



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2021

FIGURE 19 - NOMBRE DE LANCEMENTS ORBITAUX PAR TYPE DE LANCEUR ET NOMBRE DE FUSÉES LANCÉES COMPARÉS AU NOMBRE DE SATELLITES MIS EN ORBITE EN 2020



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2021

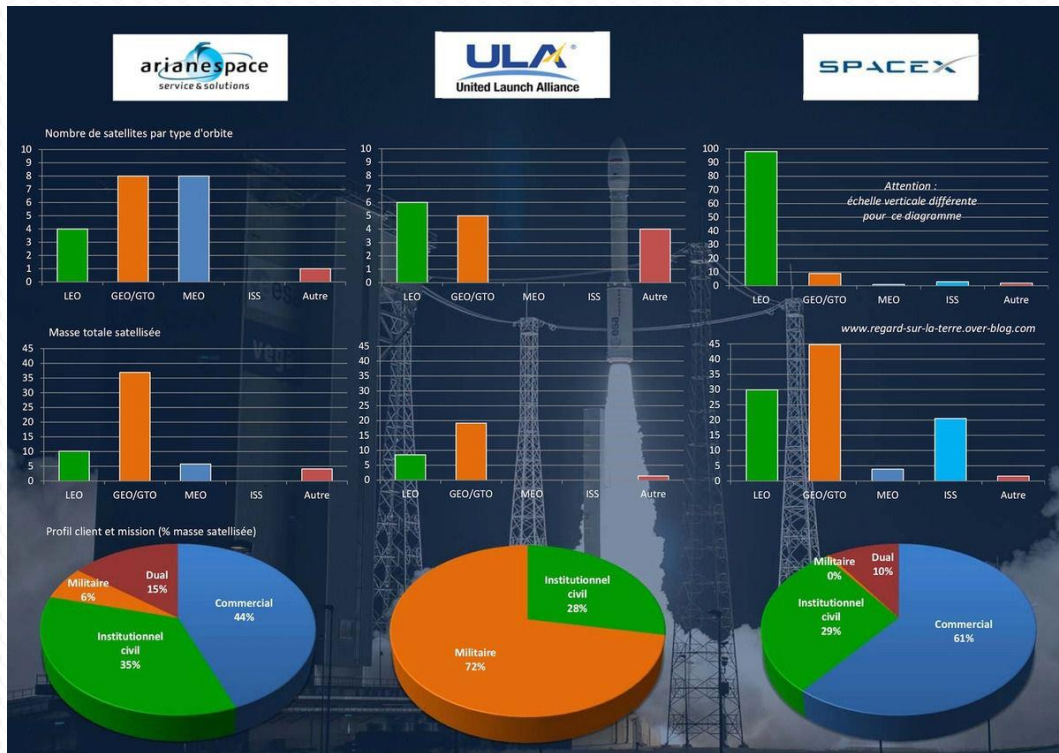
3. La situation en 2020/2021

Effectuons maintenant un état lieux de la situation en 2020/2021, pour pouvoir en saisir les évolutions et les résultats de tout ce que nous avons vu précédemment.

D'abord, nous pouvons constater au travers des deux graphiques des figures 18 et 19, le nombre de lancements effectués sur l'année 2020 par pays et par type de lanceurs, ainsi que le nombre de satellites lancés et la masse satellisée par pays. Nous pouvons ainsi observer un nouveau duopole Chine/États-Unis effectuant plus des 2/3 des lancements de fusée sur l'année. Par contre, en termes de satellite, les États-Unis occupent une première place incontestée avec 855 satellites mis en orbite, soit 67% du marché, et 343 tonnes de masse satellisée, soit environ 61% de la masse totale mise en orbite en 2020, et plus de dix fois la masse satellisée par les Européens.

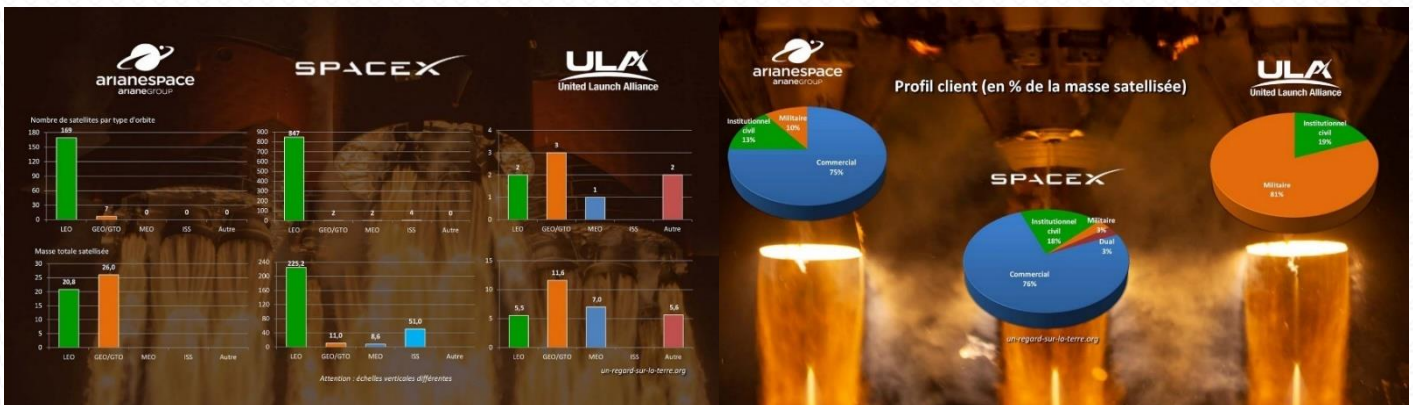
Si nous allons plus en détail et que nous regardons maintenant, les lancements par fusée. Nous pouvons voir qu'avec 25 lancements réussis de la fusée Falcon 9, SpaceX a mis à lui seul près de 296 tonnes en orbite, soit **plus de 50% du total du marché**. SpaceX est devenu le premier acteur de lancement spatial sur l'année 2020, soit une première pour acteur privé dans ce marché.

FIGURE 20 : STATISTIQUES D'ARIANESPACE, SPACEX ET ULA EN 2018



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2021

FIGURE 21 : STATISTIQUES D'ARIANESPACE, SPACEX ET ULA EN 2020 :



Source : Un autre regard sur la terre.org, 2021

Ces 2 figures, la 20 et la 21, représentent les activités des trois principaux acteurs du marché de lancement de satellite. Le premier sur la période de 2018, les deux autres en 2020. Effectuer une comparaison sur seulement 2 années d'écart, permet en fait de comprendre l'évolution fulgurante du marché et le succès de SpaceX depuis quelques années.

En effet, en premier point, on peut constater la **croissance du marché de l'orbite basse**, avec seulement 4 satellites en 2018 pour Arianespace et environ 100 pour SpaceX, tandis qu'en 2020, on dénombre plus de 847 satellites mis en orbite basse par SpaceX et 169 par Arianespace. En deuxième point, **l'effondrement du marché des Satellites en orbite GTO**⁴⁵ avec 23 satellites mis en orbite sur les 3 acteurs en 2018, contre seulement 12 en 2020. En troisième point, **le marché de lancement commercial qui devient le principal moteur des activités spatiales en 2020**, sauf pour les acteurs comme ULA qui, par choix, se spécialisent dans les lancements de satellites militaires et institutionnels. En effet, le marché commercial occupe une part de 75% des activités de SpaceX et d'Arianespace en 2020 alors qu'elles n'étaient que de 44% pour Arianespace il y a seulement 2 ans. Enfin en dernier point, **le succès majeur de SpaceX et de sa stratégie du « re-use »**. SpaceX domine largement le marché de l'orbite basse avec plus de 847 satellites mis en orbite en 2020, mais même sur le marché de prédilection d'Arianespace, l'orbite GTO, ils parviennent à les concurrencer de manière significative, bien que le modèle du re use pose justement question sur le sujet de la fiabilité du lancement, critère hautement pris en compte pour les satellites à forte valeur des orbites GTO.

Cette domination ne se fait pas que sur le plan opérationnel, mais aussi sur le plan financier. En effet, d'après des sources du journal La Tribune, sur la période 2018/2023, la perte cumulée pour Arianespace pourrait atteindre 500 millions d'euros³³. Un scénario cauchemardesque qui pourrait amener à une recapitalisation de la société.

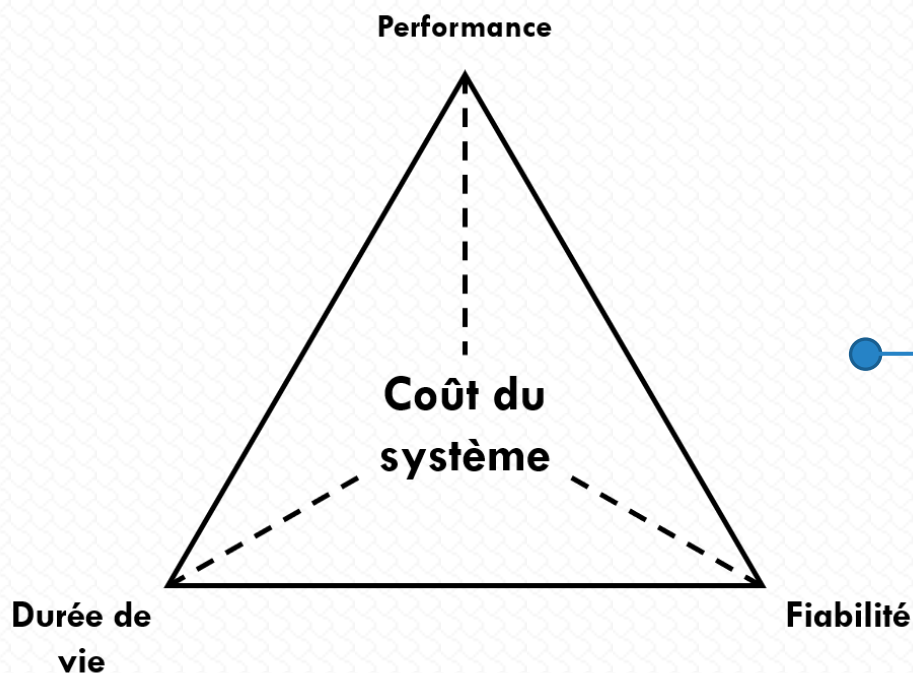
La raison de ces pertes ?

Arianespace est tout simplement obligé de vendre à perte ses lancements face à la concurrence de SpaceX, un lancement d'Ariane 5 est vendu 110 millions de dollars au lieu des 130 millions qui prennent déjà en compte le soutien financier de l'ESA. La perte financière se retrouve ainsi en provisions sur les années suivantes. De son côté, SpaceX engrange de plus en plus de commandes⁴⁶ et peut accélérer la cadence des lancements grâce à la réutilisation des fusées, avec plus de 3 lancements par mois prévus en 2020³⁴, ce qui lui permet par la même occasion d'optimiser ses coûts de lancement encore plus.

S'il fallait encore douter du modèle de SpaceX, il suffit de voir ce que ses concurrents font pour être compétitif. **Tous suivent le même modèle** : Le 22 décembre 2020, la Chine lance le premier vol de sa nouvelle fusée réutilisable, nommée Long-March 8²⁷. Le 9 Octobre 2020, l'agence spatiale russe Roscosmos présente « Amur », son nouveau projet de lanceur moyen dont le premier étage sera réutilisable⁵⁶. Même l'ESA et ArianeGroup, principaux détracteurs de la fusée réutilisable Falcon 9, ont dû lancer un programme de développement d'un lanceur réutilisable, Themis, mais annoncé pour 2025-2030³⁹.

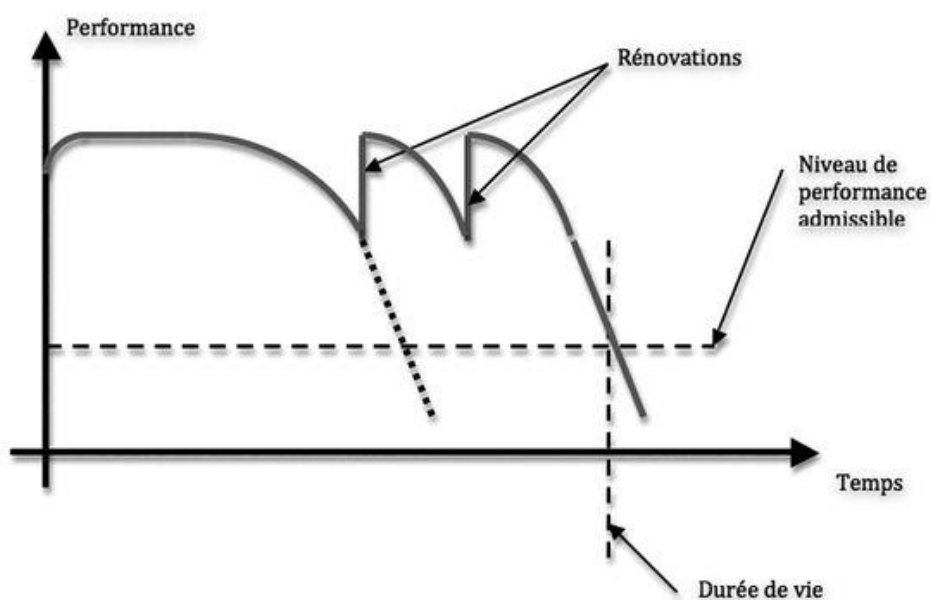
Plus largement, de **nouveaux marchés se sont développés**, notamment celui des mini-lanceurs réutilisables à bat-coût uniquement dédiés aux CubeSats, avec des start-ups comme Vector Space, Rocket Lab, Firefly. Mais aussi celui des lanceurs lourds réutilisables, qui seront notamment capables d'amener des infrastructures spatiales sur la Lune, avec en première ligne de développement la Falcon Heavy ou encore le projet Blue Origin de Jeff Bezos. Enfin, les lanceurs réutilisables habités pour du tourisme spatial sont en développement, avec la Capsule de New Shepard de Blue Origin.

SCHÉMA 25 : LES PRINCIPAUX AXES DE COMPÉTITIVITÉ D'UN SYSTÈME



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

SCHÉMA 26 : CYCLE DE VIE D'UN SYSTÈME PAR RAPPORT À UN MINIMUM DE PERFORMANCE EXIGÉ



Source : Méquignon, M. (2012). Durée de vie et développement durable. Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine, 26/27, 225-232.

E. Synthèse de l'étude

Ainsi au sein du même marché, nous avons 2 innovations au modèle opposé, les microsatellites jetables et les lanceurs réutilisables, qui pourtant s'accordent parfaitement pour réduire les coûts de lancement de satellites. Leur point commun est qu'elles se sont développées dans une situation où la durée de vie des systèmes était bloquée et équivalente entre les différents concurrents. Ainsi, la compétitivité de chacun des acteurs ne pouvait se faire que par les performances et la fiabilité des systèmes, résultant donc à des lanceurs à haute performance et fiables comme les Arianes ou à des satellites toujours plus gros, complexes, performants et fiables.

Ce schéma représente donc bien les **3 grands axes de compétitivité** qui influent sur le prix de vente d'un système. Si l'un des facteurs est à équivalence égale entre les différents concurrents, la compétitivité se fera sur les deux autres facteurs. Dans le cas du lancement commercial de satellites, avant la réutilisation des lanceurs, c'étaient bien les innovations de performance (Le poids de la charge utile transportable, l'orbite cible) et de fiabilité (% de succès) qui faisait la compétitivité du lanceur et déterminait son coût (exprimé souvent en coût/kg transporté).

Néanmoins, l'innovation des CubeSats montre bien que le **besoin du client** reste le facteur déterminant et qu'il ne se retrouve pas toujours dans un besoin d'un service toujours plus performant ou toujours plus fiable, mais plutôt dans **un rapport satisfaction/coût du service rendu**. Ainsi, il se crée des segments de marché avec des **minimums de performance admissible**, des **minimums de fiabilité admissible** et des **minimums de durée de vie admissible** pour un coût le plus bas possible.

Et c'est dans ces segments de marché que va se créer une offre personnalisée à ces minimums requis, et où les 3 axes de compétitivité vont être optimisés au service d'une réduction du coût des prestations, des produits, des systèmes. Ainsi, l'innovation du « Re Use » de SpaceX constitue non seulement un gain de compétitivité du lanceur parmi **les besoins des clients les plus exigeants** (à partir du moment où les autres axes ne s'en retrouvent pas dégradés), mais aussi une optimisation des coûts au service d'une démocratisation de l'accès à l'espace pour les **besoins clients les moins exigeants**.

Le rallongement de la durée de vie, permet entre autres de bénéficier du système plus longtemps et donc d'amortir les coûts de production sur un plus grand nombre de transactions ou d'années d'exploitation. Néanmoins, l'intérêt de la remise en état n'est pas systématique. En effet, si **(le coût logistique de la récupération du lanceur) + (le coût de la remise en état)** est supérieur au **(Coût de production d'un lanceur et de sa distribution)**, il sera plus intéressant de passer par la production d'un nouveau lanceur que d'en réutiliser un. De même, si les facteurs de compétitivité tels que la performance et la fiabilité sont dégradés, il faut aussi prendre en compte l'éventuelle **dépréciation du prix de vente** du lanceur réutilisé qui peut rendre plus intéressant, là aussi, de passer par la production d'un nouveau lanceur. Enfin, il faut aussi prendre en compte la **durée de vie supplémentaire** apportée par la remise en état, car elle peut être inférieure à la **durée de vie initiale** d'un produit neuf, ce qui n'est pas le cas des lanceurs ici (1 utilisation à l'origine, 1 utilisation après remise en état).

Ainsi, nous pourrions tenter une formule pour déterminer l'intérêt du modèle du « Re Use » :

$$\frac{(\text{CLR} + \text{CR}) + (\text{PVN} - \text{PVR})}{(\text{DVS}/\text{DVI})} \quad \text{Doit être inférieur à} \quad \text{CP} + \text{CLD}$$

Avec :

CLR : Coût logistique de la récupération

CR : Coût de la remise en état (Réparation)

PVN : Prix de vente neuf

PVR : Prix de vente reconditionné (prix déprécié par perte de performance et de fiabilité)

DVS : Durée de vie supplémentaire

DVI : Durée de vie initiale

CP : Coût de production

CLD : Coût logistique de distribution

Donc nous le voyons, il n'est pas si aisé de savoir si la remise en état d'un système est plus intéressante que son simple remplacement. Les incertitudes, notamment en termes de durée de vie supplémentaires, et de pertes de performance et de fiabilité amènent **un risque à l'investissement que l'exploitant doit prendre à sa charge.**

Ainsi, *pourquoi accepterait-il de payer plus cher un système dont il n'a pas la garantie qu'il sera réellement plus intéressant à exploiter économiquement sur la durée ?*

C'est ce principe d'acquisition, que nous avons pu observer lors de la première partie avec les contrats à engagement de moyens et à prix forfaitaires d'acquisition, qui limitent fortement les industriels à développer des démarches de conception destinées à augmenter la durée de vie des systèmes via une meilleure maintenabilité notamment.

Or, l'exemple de SpaceX nous montre que lorsque ce principe d'acquisition est évincé, ici avec la position de double casquette de producteur/exploitant, le concepteur peut se permettre de déployer une démarche de Soutien Logistique Intégré au système afin d'essayer d'augmenter la durée de vie d'exploitation du système. **C'est lui-même qui assume les risques de son pari de développement** et qu'il ne pourra vérifier que des années plus tard. Néanmoins, la différence, c'est qu'il maîtrise complètement le fonctionnement interne de son système, il n'a pas de problèmes pour spécifier ses exigences de soutien, et il peut vraiment faire du Sur-Mesure, il n'a pas pour vocation à vendre des fusées à d'autres exploitants, il gère lui-même commercialement l'exploitation de ses systèmes pour des clients finaux qui n'ont besoin que du service que leur fournit le système, et non pas sa possession qui n'est que facultative à la satisfaction du client.

Il ne s'agit donc plus de **vendre des biens et des services**, mais de **louer l'usage des biens et des services**, et pour le producteur, plus il arrivera à **faire durer longtemps les systèmes qu'il gère** et plus il **augmentera les bénéfices qu'il en retire**. Mais tout ceci reste conditionné au fait que les coûts logistiques de récupération et les coûts de réparation soient inférieurs au coût de production d'un nouveau lanceur et de sa logistique de distribution. Il va s'agir alors de mettre en place des stratégies de conception et de soutien qui améliorent suffisamment la réparabilité et la soutenabilité du système pour optimiser ce rapport.

PHOTO 5 - ÉQUIPE PROJET ARIANEWORKS



Source : CNES, 2019

PHOTO 6 - LE PROTOTYPE FROG



Source : CNES, 2019

II. Les stratégies de conception et de soutien des lanceurs réutilisables de SpaceX, ArianeWorks et du CNES

Nous l'avons vu, le succès commercial de SpaceX est remarquable. D'un point de vue économique, ils ont réussi à commercialiser un lanceur « low cost » en comparaison des offres concurrentes disponibles, ouvrant ainsi l'accès à l'espace à plus de clients potentiels (**augmentation de la demande**). Du point de vue de l'opérationnel, la réutilisation a finalement permis de découpler leurs capacités de lancement (de 5 à plus de 25 lancements annuels), leur permettant ainsi de répondre à une demande croissante et réduisant au passage les coûts d'exploitation par des économies d'échelle (**augmentation de l'offre**). Enfin, du point de vue de la stratégie, si on pouvait considérer dans les années 2000 que SpaceX avait un long train de retard dans le développement d'une offre de lanceur concurrentiel, le pari de développement de la réutilisation qui a été décidé^A, a finalement fini par payer et c'est aujourd'hui SpaceX qui a un train d'avance technologique sur l'ensemble de ses concurrents⁷⁶. En effet, tous suivent aujourd'hui le même modèle, chacun tente de développer le lanceur réutilisable de demain, y compris ArianeGroup qui a créé une équipe projet en collaboration avec le CNES pour en accélérer le développement. Ainsi, nous allons voir au travers de cette équipe projet et d'un « challenge R&D Lanceurs » mis en place par le CNES, quelles en sont les stratégies de conception et de soutien qui permettent de rendre un système plus intéressant lorsque celui-ci est considéré non pas sur son coût d'acquisition, mais sur l'ensemble des coûts du cycle de vie du système.

A. Appliquer une démarche itérative conception/essai pour bénéficier d'un retour d'expérience et appréhender la soutenabilité opérationnelle

ArianeWorks est donc une équipe projet, ou plutôt une « plateforme d'accélération » destinée à préparer les lanceurs du futur. Elle a été créée le 21 février 2019³⁷ en présence de Frédérique Vidal, Ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Jean-Yves Le Gall, Président du CNES et André-Hubert Roussel, Président exécutif d'ArianeGroup. Elle réunit sur un même plateau différentes équipes qui ont alors accès à l'ensemble de l'écosystème spatial européen.

L'objectif de la plateforme est alors de permettre à une équipe réduite et résolument « agile » de travailler en étroite collaboration avec des start-ups innovantes, des laboratoires, des PME ou encore des industriels, et avec comme impératif une volonté forte de réduction des coûts.

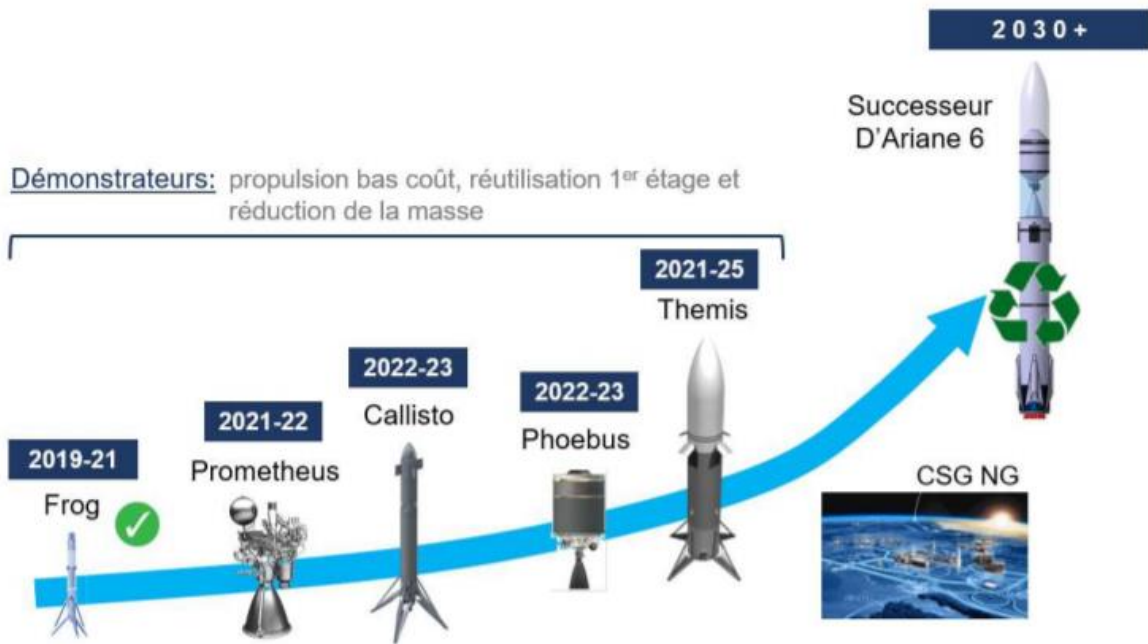
Elle bénéficie du support des bureaux d'étude Ariane, pour les modèles de calculs, les bases de connaissance, les moyens de fabrication et les installations d'essai, pour faire les meilleurs choix d'architecture.

Car oui, en effet, l'équipe projet se base sur une démarche assez remarquable. Il ne s'agit pas tellement de s'appuyer sur une méthodologie ou une démarche qui au bout de X années permettrait de concevoir le meilleur système possible du premier coup. Mais au contraire de réduire le délai entre la formulation d'une idée et sa concrétisation sur un pas de lancement. Autrement dit, l'équipe projet applique une démarche itérative conception/essai pour **tester toutes les solutions et alternatives** qu'elle pourrait entrevoir. L'essai permet alors de bénéficier d'un **retour d'expérience opérationnel très rapide** sur les idées d'innovation et ainsi de faire émerger rapidement des axes d'innovation.

Pour tester les solutions, l'équipe réalise des prototypes de petites tailles, portant d'abord sur des systèmes peu complexes puis, peu à peu, allant vers des prototypes de plus en plus complexes. Il s'agit ainsi de maîtriser petit à petit la complexité croissante des prototypes et de leurs sous-composants pour à la fin parvenir à un système maîtrisé et dont on connaît les forces, les faiblesses, les besoins en soutien, ...

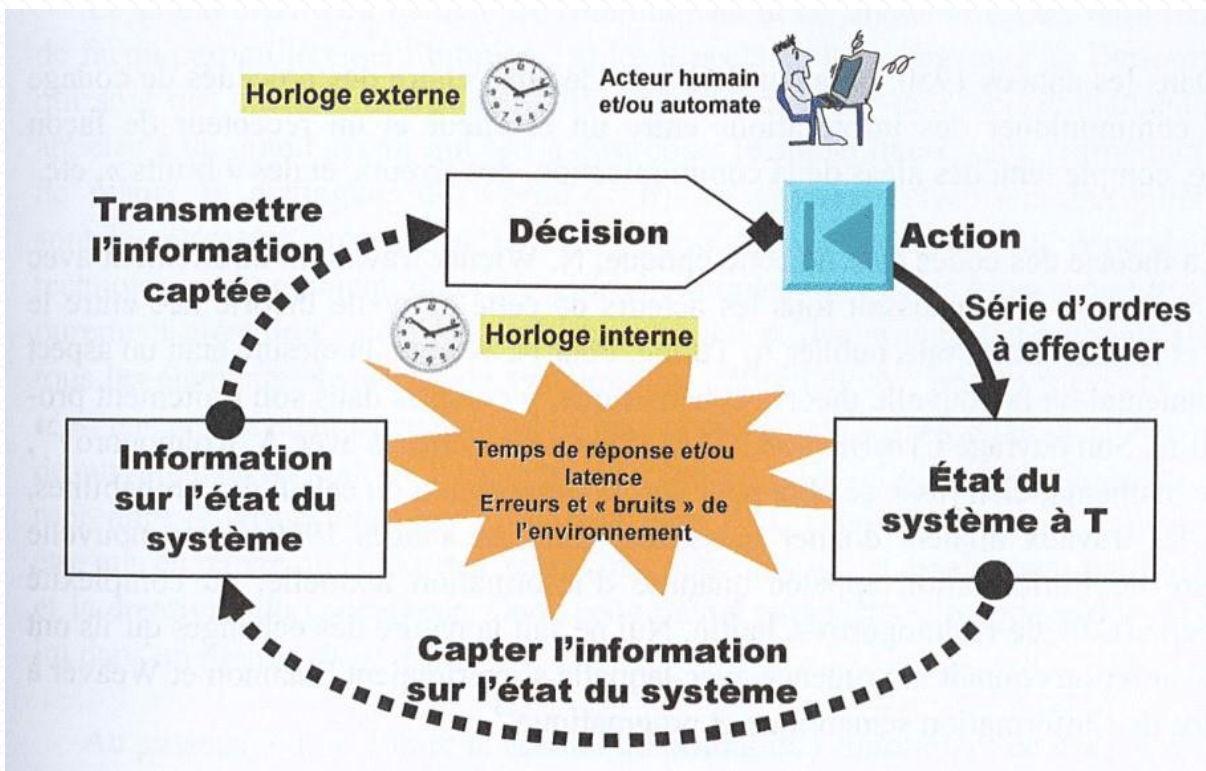
[A] Bien qu'il ait failli coûter la faillite de l'entreprise en 2008 et la moitié de la fortune d'Elon Musk à l'époque.

SCHÉMA 27 - LOGIQUE INCRÉMENTALE DE DÉMONSTRATION POUR LA RÉUTILISATION DU PREMIER ÉTAGE



Source : CNES, 2020

SCHÉMA 28 - LA BOUCLE DE RÉTROACTION FONDAMENTALE ET SES HORLOGES



Source : Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 53

Pour ArianeWorks en l'occurrence, le but est de développer Thémis, le premier étage de fusée polyvalent, bas coût et réutilisable, mais pas en tant que système opérationnel, en tant que démonstrateur technologique avant d'être envisagé dans une solution opérationnelle. Il s'agit ici de développer ce que l'on appelle des « **briques technologiques** ». Des systèmes que l'on pourra mobiliser dans d'autres systèmes.

ArianeWorks applique en fait une démarche de **conception sur-mesure et standardisée** de briques technologiques. Nous allons développer cela dans le point suivant.

B. Construire une démarche de conception modulaire sur-mesure, mais standardisée au système

Nous avons vu précédemment qu'il existait deux approches de conception ayant un impact significatif sur la démarche du SLI. **Une conception sur-mesure de systèmes** qui faisait alors appel à une approche SLI complète et relativement coûteuse. Et **une conception sur catalogue de systèmes standardisés et variétés** qui faisait alors appel à une approche SLI bien plus réductrice et peu coûteuse.

Si nous pouvons faire l'analogie avec la conception sur-mesure des Arianes, et plus généralement des lanceurs « one shot », la stratégie de conception de SpaceX et de ArianeWorks diffère et ne se retrouve pas dans une conception sur catalogue. En effet, nous ne retrouvons pas de catalogues de lanceurs sous différentes variantes dans la stratégie de SpaceX. Il y a **un développement pour un lanceur**, qui éventuellement peut évoluer en de nouvelles versions améliorées avec le temps. Non, ce qui est nouveau, c'est d'une certaine façon l'art de mêler le sur-mesure au standard.

En effet, nous avons vu qu'ArianeWorks essayait de développer des briques technologiques. Celles-ci, une fois développées vont être modularisées et standardisées pour s'intégrer dans un « tout » cohérent. Autrement dit, il n'y aura pas de lanceurs à plusieurs configurations, mais bien un lanceur avec les mêmes sous-composants préalablement développés et standardisés^A.

Pourquoi ce développement de modules standardisés ?

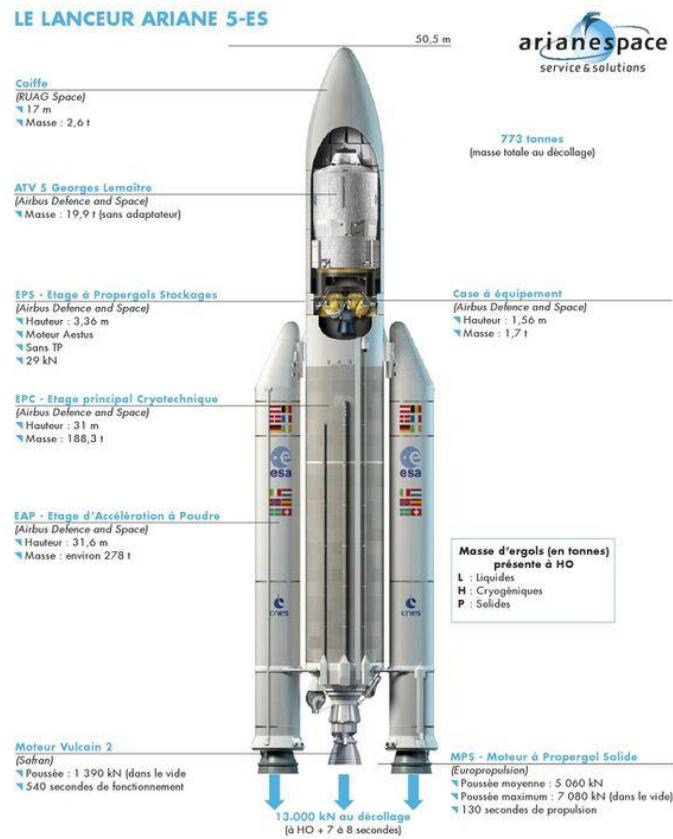
Parce que cela va participer à constituer l'**invariant structurel** du système^B. En effet, il est nettement plus simple de contrôler et réguler l'état d'un système tout au long de son cycle de vie quand l'architecture du système et les sous-composants qui le composent sont standardisés. Les différentes configurations de lanceurs dans la conception sur-mesure vont démultiplier les systèmes de contrôle et de soutien, et donc démultiplier les besoins de ressources en termes de personnel et de compétences de l'équipe d'ingénierie, mais aussi démultiplier le besoin en capacité d'adaptabilité du comportement des usagers.

[A] On ne monte pas un mur avec des briques de tailles différentes

[B] Jacques Printz définit l'invariant structurel comme l'un des 3 grands principes fondamentaux de la systémique. En effet, il parle de « taille » du système ou de forme logique, au sens de l'architecture et/ou de l'organisation. « L'invariant » définit alors la finalité du système, ce qu'il doit accomplir, sa raison d'être. Et le « structurel » définit la norme, le référentiel que l'architecture système doit respecter pour assurer cette finalité. Il ne s'agit non pas seulement de respecter une architecture de conception mais aussi de pouvoir garantir tout au long du cycle de vie du système que la boucle de rétroaction des éléments sur eux-même est à même de contrôler/réguler son invariant structurel. Typiquement, les lanceurs « one shot » ne garantissent pas leur invariant structurel au-delà de leur premier lancement. L'ingénierie de cette boucle de rétroaction est fonction des compétences de l'équipe d'ingénierie qui la développe, la maintient et l'exploite tout au long du cycle de vie du système, mais aussi du comportement des usagers. Il faut alors définir l'architecture modulaire la mieux adaptée à la situation globale et celle-ci en est la matérialisation de l'invariant système.

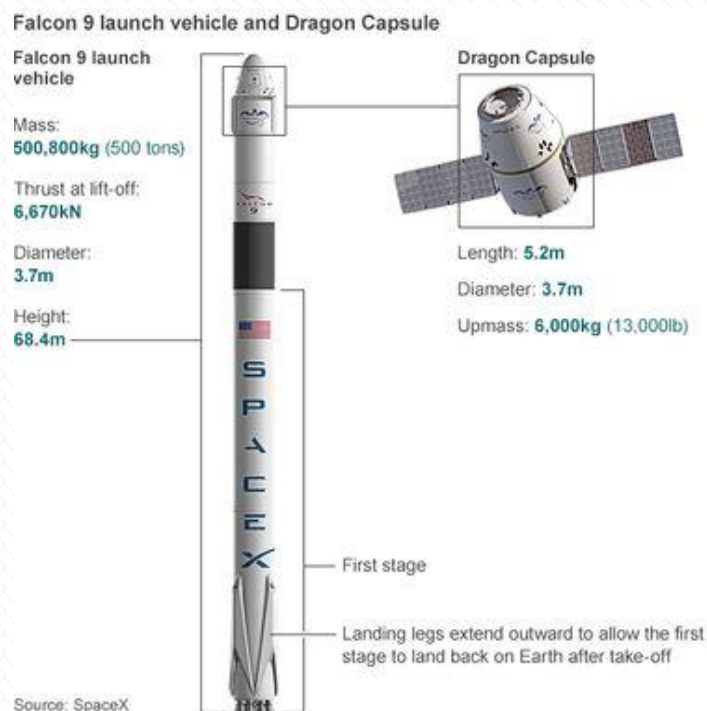
Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 275

SCHÉMA 29 - ÉLÉMENTS CONSTITUANTS D'UNE ARIANE 5-ES



Source : Ariespace, 2014

SCHÉMA 30 - ÉLÉMENTS CONSTITUANTS D'UNE FALCON 9



Source : SpaceX, 2015

De plus, pour Jacques Printz :

« La taille maximum du système dans sa dimension organique est déterminée par la capacité de traitement (la « performance ») de la boucle de rétroaction générale, centralisée et/ou hiérarchiquement distribuée, qu'il faut donc éviter de saturer par de l'information inutile ou non pertinente. » (Printz, 2019, p. 276)

Autrement dit, c'est la capacité du logiciel ou « software », derrière le « hardware » qui va déterminer l'architecture du système et ce qu'il peut accomplir. Si le hardware n'est pas standardisé ou n'est pas fixe, ce sont des informations supplémentaires que le software devra gérer et réduira donc indubitablement ses performances.

Si nous revenons donc aux stratégies de conception du CNES, d'ArianeWorks et de SpaceX en ce qui concerne les lanceurs, posons-nous la question de cet invariant structurel. La finalité du lanceur est d'emmener une charge utile dans l'espace. Donc l'invariant structurel élémentaire de tout lanceur se constitue du moteur et des réservoirs permettant de l'alimenter. De ce constat, si SpaceX a priorisé la récupération et la réutilisation du premier étage, ce n'est pas un hasard. De plus, comme on peut le voir, la conception de la Falcon 9 a été limitée en nombre d'éléments/étages, comparé à une Ariane 5 qui ne possède pas moins de 3 étages qui se séparent en vol, c'est autant d'éléments à récupérer ensuite et autant de « software » à intégrer sur chaque étage pour les contrôler.

En effet, la Falcon 9, elle, a été simplifiée (non pas tellement dans la complexité du système, mais plus dans le nombre de sous-éléments séparables), soit une diminution de la « taille » organique. Il ne s'agit donc que de récupérer le premier étage qui a été standardisé et qui regroupe les éléments essentiels à l'invariance structurelle du lanceur, soit le moteur et ses réservoirs, **mais aussi les jambes d'atterrissage**, nouvel élément essentiel pour assurer l'invariance structurelle du lanceur, mais sur plusieurs lancements. Il est dès lors plus simple pour le software de gérer un seul élément essentiel dans son atterrissage.

Si donc la simplification et la standardisation de l'architecture du lanceur a permis la réussite de la réutilisation de Falcon 9, et plus largement a permis le succès commercial de SpaceX, il ne faut tout de même pas négliger la conception modulaire sur-mesure dans ce succès. En effet, pour Jean-Yves Le Gall, le succès de SpaceX provient avant tout du moteur Merlin, développé pendant 10 ans par la NASA :

« Vous savez, personnellement, j'ai été l'un des premiers à dire qu'il fallait se méfier de SpaceX à une époque où d'ailleurs, beaucoup de gens pensaient que je m'égarais. SpaceX a surfé sur le moteur Merlin qui a été développé par la NASA entre 1990 et 2000 : 10 ans de développement, 10 milliards de dollars.

Vous regardez tous les vols de SpaceX sur le Falcon qui utilise le moteur Merlin, il n'y a jamais eu le moindre problème parce que c'est un moteur qui est absolument remarquable. Les difficultés observées récemment sur le Starship ont toutes comme origine le moteur Raptor qui lui a été développé par SpaceX et qui à l'évidence n'est pas encore le domaine de fonctionnement du moteur Merlin et donc le moteur Raptor a encore beaucoup de progrès à faire. » (Jean-Yves Le Gall, 7 Avril 2021)^A

[A] Conférence « L'espace, un outil indispensable de coopération entre les pays », organisé par la Cité de l'Espace, à Toulouse, le 7 Avril 2021

SCHÉMA 31 : LES 8 AXES D'INNOVATION PRIORITAIRES RETENUS PAR LA DIRECTION DES LANCEURS DU CNES



Source : CNES, 2020

IMAGE 27 - SYSTÈME DE MESURE DE LA MASSE D'ERGOL RESTANTE

The slide is titled "LA TECHNIQUE SMG" and features the logo of "UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH". It includes a video feed of a man in the top right corner.

The central diagram shows a blue, irregularly shaped propellant mass. A red component labeled "ÉMETTEUR D'ONDES ACOUSTIQUES" (Acoustic wave emitter) is attached to the top. Green components labeled "CAPTEURS ACCÉLÉROMÈTRES" (Accelerometer sensors) are attached to the sides. A graph labeled "ANALYSE DES DONNÉES" (Data analysis) shows a waveform.

In the bottom left, a bar chart is labeled "VOLUME D'ERGOL" (Propellant volume). Below the diagram, the mathematical formula for the mass $N(f)$ is given:

$$N(f) = \frac{4\pi|\Omega|f^3}{3c^3} - \frac{\pi|\partial\Omega_x|f^2}{4c^2} - \frac{\pi|\partial\Omega_y|f^2}{4c^2} + o(f^2), \quad f \rightarrow \infty$$

An arrow points from the graph to the formula, and another arrow points from the formula to the "VOLUME D'ERGOL" bar chart.

Source : CNES – Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

Il ajoute par la suite :

« Une décision fondamentale que j'ai fait prendre au CNES à mes yeux, c'est le développement du moteur Prometheus. Prometheus va bientôt tourner au banc d'essai. Et Prometheus est la brique élémentaire des futurs lanceurs européens. Je suis frappé de voir que dans tous les groupes qui travaillent qui ont été mis en place entre la France, l'Allemagne, l'Italie, Prometheus est central. Donc, dans quelques années, les lanceurs européens seront construits sur Prometheus comme aujourd'hui le Falcon est construit autour du moteur Merlin. » (Jean-Yves Le Gall, 7 Avril 2021)^A

Nous voyons bien donc toute l'importance de la conception sur-mesure des modules essentiels des systèmes. Et le reste du lanceur est ensuite construit autour de ce module qui devient un standard, une brique élémentaire fixe sur laquelle s'appuyer.

Cette conception modulaire, nous avons pu la retrouver au travers du challenge R&D 2020 organisé par le CNES, et dont nous avons eu accès à la retransmission vidéo. Ce challenge est pensé pour faciliter l'accès à un financement du CNES pour développer une solution innovante applicable aux futurs projets spatiaux. Il est aussi voulu pour que soit rapidement démontré l'intérêt de la solution innovante proposée, avec à la clé une éventuelle poursuite du support CNES dans un cadre R&T. Il s'adresse notamment aux entreprises PME/Startup, laboratoires de recherche, écoles, universités, et aux groupes industriels, et s'inscrit dans les thématiques de la préparation du futur des lanceurs spatiaux. L'innovation lanceurs s'articule ainsi autour de **8 axes de travail** : Propulsion LOX-Methane & réutilisable, réutilisation 1^{er} étage, sauvegarde autonome, simplification systèmes et spin-ins, lanceur vert, solutions de réduction de masse, réutilisation étage supérieur, ruptures long terme.

Les différentes propositions d'innovations lors de cette séance de pitch vont nous permettre d'illustrer trois éléments de soutien essentiels à prendre en compte dans les stratégies de conception et de soutien, pour garantir l'invariance structurelle du système lors de sa boucle de rétroaction.

C. Développer des moyens de diagnostics pour contrôler l'état du « hardware »


- **Barcelonatech : Mesure directe de la masse d'ergols par un système acoustique**

Nous commençons donc d'abord par Barcelonatech. Ce premier intervenant est représenté par Ricard Gonzalez-Cinca du Laboratoire de Microgravité de l'Université Polytechnique de Barcelone. L'innovation proposée consiste en un système acoustique de mesure directe de la masse d'ergols. En effet, une des problématiques du lanceur lorsqu'il est en phase balistique, c'est-à-dire hors de l'atmosphère terrestre, c'est que le carburant se retrouve en état d'apesanteur et les moyens habituels terrestre pour « jauger » le volume restant de carburant, ne fonctionnent plus.


Dans la solution proposée, il s'agit donc d'envoyer des ondes acoustiques dans les réservoirs, puis de les réceptionner et de les analyser pour repérer les espaces de vides et les espaces liquides (les ondes ne se propageant pas à la même vitesse dans l'air par rapport aux liquides) et en déduire au final le volume d'ergol restant. Cela résout donc un problème fondamental qui est d'arriver à capter l'information sur l'état d'un volume de carburant restant dans l'espace, de manière non-intrusive, et permet de mieux gérer l'ergol des lanceurs, mais aussi des satellites en orbite.

[A] Conférence « L'espace, un outil indispensable de coopération entre les pays », organisé par la Cité de l'Espace, à Toulouse, le 7 Avril 2021

IMAGE 28 - CONTRÔLE NON-DESTRUCTIF DES DÉFAUTS ET DE LA FATIGUE DES MATÉRIAUX VIA LA TECHNIQUE DES POSITONS



Résolution inégalée pour l'analyse des défauts



Mesure de la densité de défauts dans un inox avant le front de propagation d'une fissure de fatigue

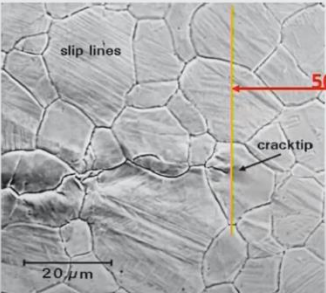


Fig. 4. SEM image of a cracktip in stainless steel AISI 321. Near the cracktip slip lines are clearly visible.

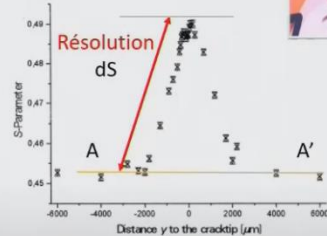


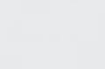
Fig. 6. S parameter scan 50 μm in front of a cracktip in AISI 321 crosswise to the cracktip. A massive effect of about 10% appears due to the fatigue deformation.

Extrait de la publication "Measurements on cracktips in stainless steel AISI 321 by using a new positron microprobe", M. Haaks et al., Applied Surface Science 149 1999. 207–210 Bonn Germany


67

Source : CNES – Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

IMAGE 29 - DIAGNOSTIC STRUCTUREL EMBARQUÉ DES DÉFAUTS PAR TECHNIQUE PIÉZOÉLECTRIQUE

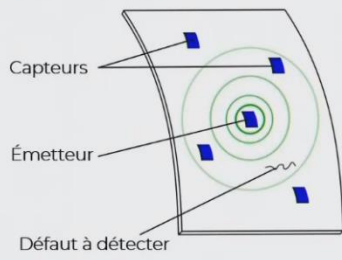


Technologie proposée : diagnostic structurel embarqué

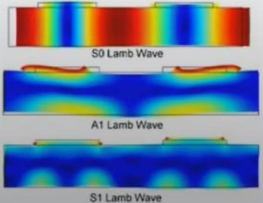


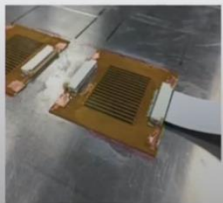
Réseaux d'émetteurs/récepteurs ultrasonores


- Couches minces piézoélectriques (<100μm)
- Génération d'ondes de plaque
- Électronique et traitement embarqué ou pluggable à terre selon les applications



Capteurs
Émetteur
Défaut à détecter







Source : CNES – Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

- **Posithôt : Microscopie de haute précision pour le contrôle non-destructif et l'analyse des matériaux**

Le deuxième intervenant que nous présentons ici, est représenté par Jean-Michel Rey, CEO de Posithôt, une start-up créée par lui-même en 2015. L'innovation proposée consiste en une nouvelle technique de mesure qui utilise les positons non-radioactifs, depuis un générateur, pour contrôler de manière non destructive les éventuels défauts des matériaux avec une résolution à l'échelle de l'atome. Ce qui va bien au-delà de la plage de sensibilité des techniques de CND existantes. Ce contrôle permet alors de détecter l'évolution de minuscules défauts de fatigue en fonctionnement qui vont atteindre par la suite une taille de défaut critique pour le système avec le temps.

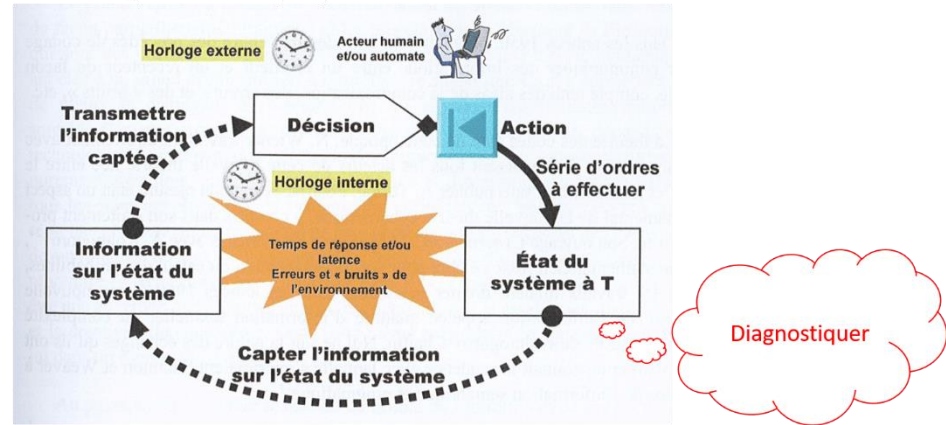
La solution proposée est une machine nommée « Défautscope atomique » et permet alors de quantifier l'endommagement avant l'apparition des fissures, d'estimer la durée de vie résiduelle en opération, et de disposer d'un critère de décision pour réutiliser un élément de lanceur.

- **Pytheas Technology : Système de diagnostic structurel embarqué**

Ce troisième intervenant est représenté par Frederic Mosca, CEO de Pytheas Technology, une PME indépendante fondée en 2015. L'innovation proposée consiste en une technologie de contrôle non-destructif des structures en mobilisant les caractéristiques piézoélectriques des matériaux. En effet, certains matériaux se polarisent électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique et, réciproquement, se déforment sous l'action d'un champ électrique. Ainsi, en électrisant les structures, la technique va permettre de repérer les défauts en surface et dans le volume.

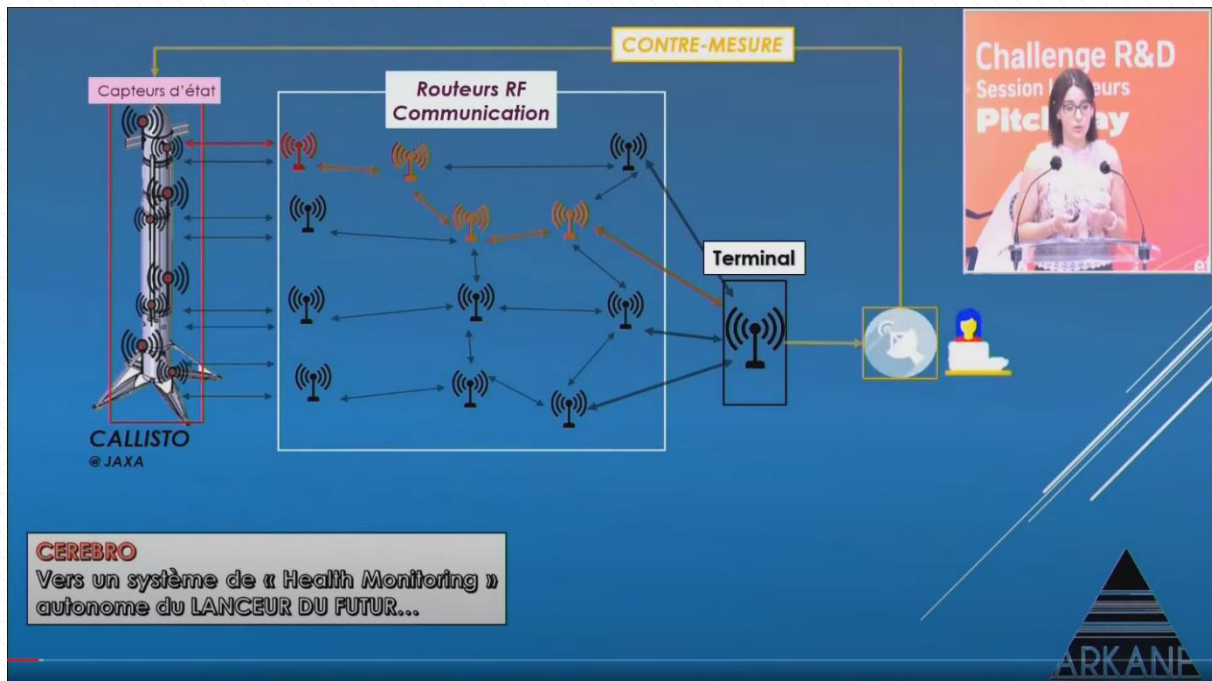
Dans la solution proposée, il s'agit donc de déployer un réseau d'émetteurs/récepteurs ultrasonores sur les structures et de générer des ondes de plaque pour détecter, localiser et caractériser les défauts. Cette solution est « embarquée » sur le système et peut être activée lors du fonctionnement du lanceur, permettant ainsi de faire des diagnostics en temps réel de manière autonome.

SCHÉMA 32 - DIAGNOSTIQUER DANS LA BOUCLE DE RÉTROACTION



Source : Modification de Julien Deroubaix, d'après Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 53

IMAGE 30 - SYSTÈME DE « HEALTH MONITORING » AVEC COMMUNICATION LANCEUR/BASE-SOL



Source : CNES — Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

Ainsi, nous pouvons le voir au travers de ces trois exemples, pour garantir l'invariance structurelle du système, il faut d'abord doter les systèmes en **moyens de diagnostics**, qu'ils soient embarqués ou externalisés. Ces moyens de diagnostics permettent de générer tout un système d'information pertinent sur l'état du système à un instant T. Une fois ces informations connues, l'exploitant dispose d'indicateurs lui permettant de décider d'une éventuelle réutilisation du lanceur si les résultats sont bons, ou d'une mise en réparation/rénovation si les résultats sont mauvais. Il s'agit donc de **s'informer pour pouvoir contrôler le système**.

Cependant, si ces moyens de diagnostics permettent de capter l'information sur l'état d'un système, encore faut-il pouvoir y avoir accès. En effet, dans le cas d'un système de diagnostic embarqué, **comment récupérer les informations du lanceur en espace depuis la terre ?**

C'est ce que nous allons voir dans le point suivant.

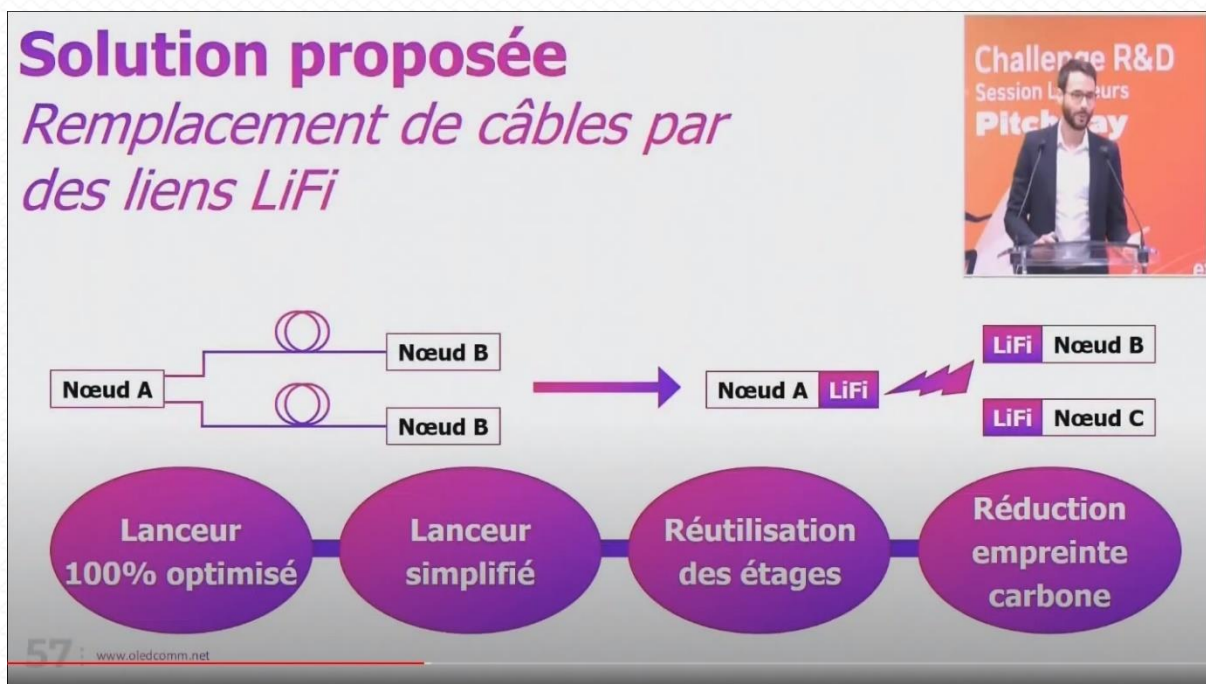
D. Développer des moyens de communication embarqués pour informer en temps réel : le « Software »

- **Arkane : Réseau de capteurs sans fil basé sur un algorithme génétique pour les systèmes de « Health Monitoring » des lanceurs du futur**

Nous commençons ici par Arkane. Ce premier intervenant est représenté par Sarra Abedrrabba, co-fondatrice de la start-up Arkane créée en 2020. L'innovation proposée consiste à créer un réseau de capteurs sans fil embarqué sur le lanceur, intégrant une antenne et des protocoles de communication basés sur des algorithmes d'intelligence artificielle. Il s'agit alors de capter les informations pertinentes sur l'état du lanceur et de les communiquer en temps réel via un réseau de routeurs menant vers un terminal qui lui transmettra l'information vers un opérateur au sol qui va décider d'une contre-mesure.

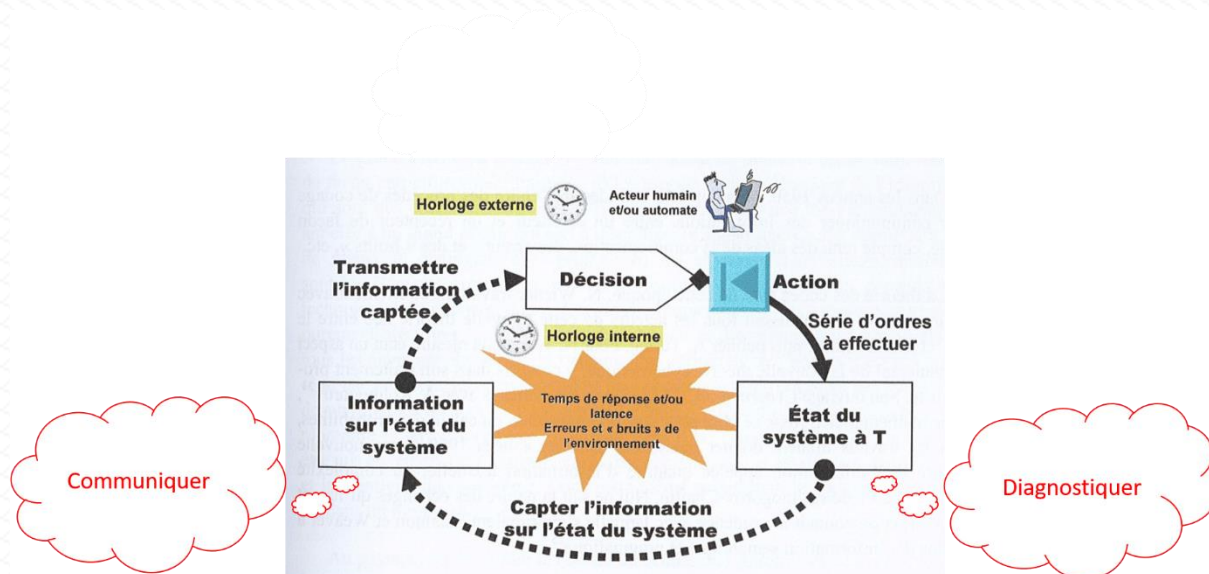
Dans la solution proposée, il s'agit donc de suivre en temps réel le lancement d'un lanceur et de pouvoir détecter immédiatement les petits dysfonctionnements imprévus qui engendreraient de grands dégâts. Pour cela, le réseau de routeurs est conçu de telle façon que l'intelligence artificielle va choisir le plus court chemin pour envoyer l'information au terminal pour assurer le temps-réel de la communication de l'information.

IMAGE 31 - REMPLACEMENT DE CÂBLES PAR DES LIENS LiFi



Source : CNES – Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

SCHÉMA 33 - COMMUNIQUER DANS LA BOUCLE DE RÉTROACTION



Source : Modification de Julien Deroubaix, d'après Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 53

- **Oledcomm : Remplacement de câbles par des liens optiques sans fil**

Le deuxième intervenant que nous présentons ici, est représenté par Bastien Bechadergue, Directeur pré-développements chez Oledcomm, un Spin-off de l'Université Paris-Saclay, créé en 2012. L'innovation proposée consiste en la fourniture d'une connexion sans fil, haut débit, sécurisée et sans ondes radio grâce à la lumière. L'intérêt de l'innovation peut se retrouver dans les marchés où le WiFi n'est pas souhaitable, sur un aspect sécuritaire, ou dans les marchés où il y a un besoin de remplacement de câbles pour gagner en coût, en masse ou en simplicité.

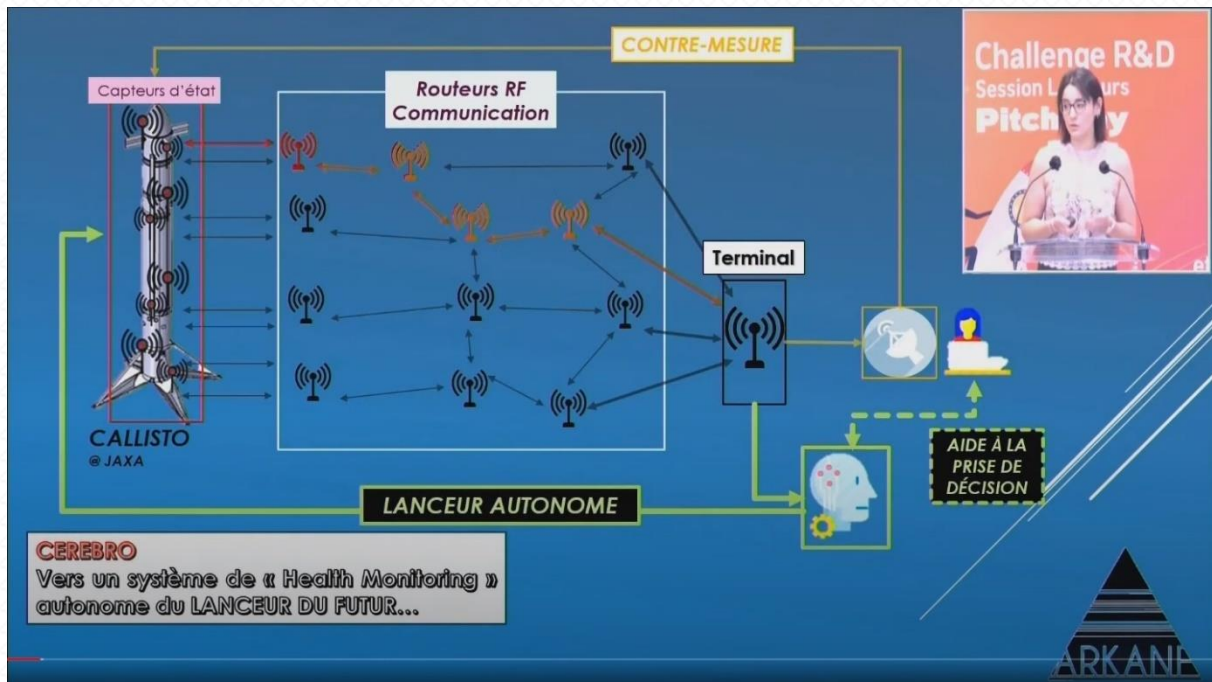
Dans la solution proposée, il s'agit donc de remplacer les liens de communication filaires qui nécessitent des connecteurs adaptés aux fortes contraintes mécaniques et donc qui sont relativement coûteux, en plus par ailleurs d'alourdir le lanceur. Il s'agit aussi de remplacer les liaisons filaires inter-étages qui sont détruites au moment de la séparation et qui sont donc non-réutilisables. Les liens de communication LiFi permettent alors d'optimiser la masse du lanceur, de simplifier le lanceur en enlevant les étapes de câblage, de rendre les étages réutilisables et de réduire l'empreinte carbone du lancement.

Ainsi, nous pouvons le voir au travers de ces deux exemples, pour garantir l'invariance structurelle du système, il faut aussi doter les systèmes en **moyens de communication embarqués**. Ces moyens de communication permettent de rapporter les informations pertinentes à un acteur humain apte à analyser et à prendre des décisions ou des contre-mesures face à un danger pour le système. Mais plus encore, les moyens de communication jouent un rôle interne encore plus crucial de lien informationnel entre les sous-systèmes, faisant transiter à la fois les données relevées par les capteurs, mais aussi les ordres à effectuer du décisionnaire.

L'immédiateté de la transmission d'informations constitue donc un réel enjeu pour des systèmes qui nécessitent des décisions ou des contre-mesures en **temps-réel** comme cela peut-être le cas avec les lanceurs, ou à titre d'exemple plus parlant, la conduite d'une automobile. Ceci pose donc la problématique des **temps de latence** de la transmission d'informations, mais aussi du **temps de réflexion/reflexe** de l'acteur humain décisionnaire. Il va s'agir alors dans certains cas de remplacer l'acteur humain par un automate pour gagner en rapidité d'exécution des contre-mesures, gagner en autonomie du système face aux aléas, voire gagner en sécurité du système face aux erreurs décisionnelles de l'utilisateur.

C'est ce que nous allons voir dans le dernier point.

IMAGE 32 - SYSTÈME DE « HEALTH MONITORING » AUTONOME AVEC AIDE À LA PRISE DE DÉCISION



Source : CNES – Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

IMAGE 33 - LOGICIEL EMBARQUÉ DE PILOTAGE AUTOMATIQUE

NOTRE TECHNOLOGIE

Nous proposons des technologies permettant de développer **plus rapidement et plus efficacement** des logiciels embarqués conformes au **standard DO-178C**.

- // PULSAR FACTORY**
Environnement de développement pour logiciels embarqués conformes à la DO-178C.
- // SUPVARENO™**
Processus de développement conforme à la DO-178C.
- // PULSAR**
Autopilote sur étagère conforme au standard DO-178C pour drones et Air Taxis.

Challenge R&D
Session Lanceurs
Pitch Day

www.hionos.com

Source : CNES – Pitch Day, Challenge R&D session lanceurs, Juin 2020

E. Amener de l'intelligence décisionnelle au système embarqué

- **Arkane : Vers un système de « Health Monitoring » autonome du lanceur du futur**

Nous reprenons l'exemple d'Arkane. En effet, l'innovation proposée par cette start-up ne se résume pas seulement à la mise en place de protocoles de communication. Ils proposent un « Health Monitoring », que l'on pourrait traduire en système de surveillance de la santé du lanceur, et qui est basé sur un algorithme intelligent qui permet d'aider à la décision des contre-mesures de l'acteur humain, voir plus encore, de rendre autonome le lanceur en matière décisionnel.

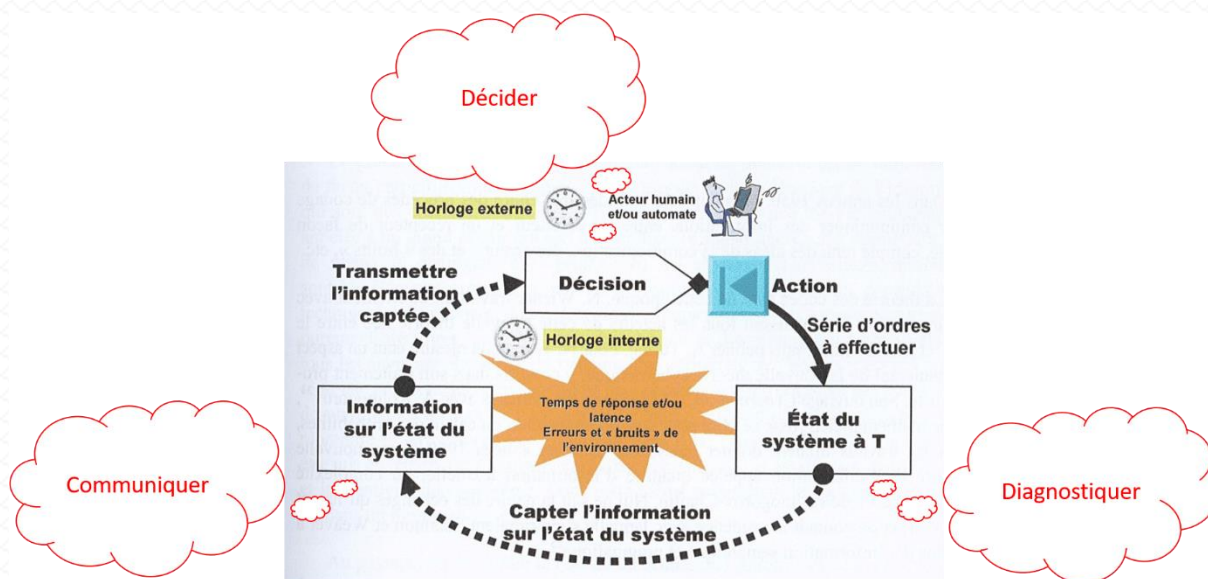
Dans la solution proposée, il s'agit donc d'aider l'opérateur à prendre des décisions plus rapidement pour réduire les temps de réflexion, ou à terme de doter le lanceur d'une intelligence artificielle capable de s'émanciper de l'acteur humain et de ses limites opérationnelles et donc d'intégrer une dimension décisionnelle au système embarqué, permettant de réduire le facteur humain dans les échecs de lancement.

- **Hionos : Logiciel de pilotage automatique des lanceurs**

Ce deuxième intervenant est représenté par Valentin Brossard, CEO de Hionos, une filiale de Sogilis créée en mars 2016. L'innovation proposée consiste en une technologie permettant de développer rapidement et efficacement des logiciels embarqués critiques conforme à la norme aéronautique DO-178C et permettant le pilotage automatique de systèmes volants, comme les Drones ou les Air Taxi.

Dans la solution proposée, il s'agit donc de fournir les moyens de développement d'un logiciel d'autopilote pour lanceur, avec notamment un système de sauvegarde autonome permettant plus de sécurité et de fiabilité opérationnelle du lanceur. Autrement dit, Hionos propose son savoir-faire en matière de développement d'autopilote pour réduire les étapes de développement R&D en interne pour le CNES en la matière et surtout réduire les erreurs d'ingénierie en matière de conception d'autopilote.

SCHÉMA 34 : DÉCIDER DANS LA BOUCLE DE RÉTROACTION



Source : Modification de Julien Deroubaix, d'après Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1^{ère} ed.). ISTE. p. 53

Ainsi, nous pouvons le voir au travers de ces 2 exemples, le contrôle de l'invariance structurelle du système passe aussi par une **amélioration de la dimension décisionnelle du système**, au travers de la réduction du « temps de réflexion » de l'acteur humain via une aide intelligente à la décision, ou, plus ambitieux, au travers de la réduction du « temps de reflexe » par une émancipation du système à l'acteur humain et le développement d'intelligences artificielles capables de prendre les décisions en remplacement, le système gagnant alors en autonomie par rapport à l'exploitant/usager.

Cependant, nous le voyons bien avec Hionos, le développement des intelligences artificielles reste issu d'une conception humaine et n'est donc pas affranchi des erreurs de conception des équipes d'ingénierie qui les développent. La dimension décisionnelle de la boucle de rétroaction pose donc beaucoup de questions. Le rôle de l'acteur humain en tant que « commandant » en chef du système est clairement remis en question.

En effet, s'il est aisé de transmettre des informations entre différents systèmes utilisant le même « langage », la transmission vers l'acteur humain est plus complexe. L'homme n'est pas intégrable à la machine, **il ne capte pas les Gigabits par seconde d'informations** ... Non, il mobilise des minutes de lecture qui sont difficilement compressibles, hormis via un retraitement pertinent en amont des données essentielles à connaître. Ainsi, peu importe la formation qu'il subit, l'acteur humain prendra toujours un temps de réflexion/reflexe qui pourra potentiellement mettre en péril l'invariance structurelle du système, voir pire, il prendra les mauvaises décisions par manque d'informations pertinentes qu'il peut capter en un laps de temps donné et son comportement mettra en danger le système (exemple : un accident de voiture classique).

Le remplacement de l'acteur humain par un automate révèle donc les problématiques de **coopération entre les systèmes** et surtout de leur **autonomie**, ou plutôt de leur **capacité à survivre aux aléas**. Ces deux problématiques représentent les deux autres principes fondamentaux de la systémique définis par Jacques Printz^A. Nous verrons ces 2 principes plus en profondeur dans la dernière partie de ce mémoire, car nous allons le voir, ceux-ci impliquent une complexité croissante dans la conception des systèmes. Et nous l'avons vu, l'automate lui aussi peut-être sujet à des erreurs décisionnelles dues à la complexité croissante des projets d'ingénierie et la complexité croissante des interactions entre systèmes de plus en plus connectés.

[A] Printz, J. (2019). *Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique*. (1ère ed.). ISTE. p. 277-279

PARTIE 3



**LE SLI, UN SAVOIR-FAIRE
INCONTURNABLE À L'AVENIR POUR
MAÎTRISER LA COMPLEXITÉ CROISSANTE
DES SYSTÈMES ?**



Cette scène représente 2 personnages, que nous considérons ici comme des usagers, mais qui auraient très bien pu être remplacés par d'autres acteurs. Nous les voyons communiquer entre eux, et l'un d'eux indique justement que le temps qu'il met à prononcer sa phrase, leurs téléphones respectifs avaient déjà dû communiquer plus qu'eux pour toute une vie.

Si l'exagération de la scène est évidente, elle a le mérite de mettre en exergue une problématique fondamentale pour l'homme. Le développement progressif de l'informatisation, avec des débits de transmission toujours plus importants au fil des innovations réseaux, si elle le rend plus « capable » et performant dans ses tâches, elle le rend aussi de plus en plus obsolète pour capter une information numérique, rendre compte ou calculer des opérations. Plus les systèmes sont capables en termes de diagnostics et de moyens de communication et plus l'homme représente un frein décisionnel pour la garantie de leur invariance structurelle.

Autrement dit, l'homme est en train de créer tout un univers de complexités communicantes qui décuplent ses capacités, mais qui, en même temps, l'isole de plus en plus face à des systèmes qu'il ne maîtrise plus complètement. Nous l'avons vu, sa place de commandant en chef des systèmes est ici remise en cause.

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Il s'agira donc dans cette partie de démontrer d'abord que les systèmes que l'homme utilise deviennent de plus en plus complexes pour lui et qu'à ce titre il se retrouve obligé d'en déléguer l'exploitation à un prestataire de services mieux formé, ou plus encore à un automate embarqué plus à même de garantir l'invariance structurelle du système. Une fois cela démontré, il s'agira ensuite de montrer comment à terme, cette délégalation de responsabilités va faire évoluer les modèles d'affaires **d'un principe de vente de systèmes exploitables au client final, vers un principe de location de systèmes exploités** par le concepteur ou par un intermédiaire exploitant, et pour un usager qui ne s'intéresse finalement qu'au contrat de service que peut lui rapporter l'usage d'un système. Enfin, il s'agira de montrer comment la prestation SLI peut devenir le meilleur atout pour ces concepteurs/exploitants afin de rester compétitifs et d'augmenter leurs profits.

I. Un monde de systèmes de plus en plus complexe pour l'homme

Nous allons donc aborder ici le sujet de la complexité. Nous l'avons vu en introduction, la complexité est une notion pour le moins difficile à ingérer. Elle exprime d'abord l'aptitude d'un système à être compliqué à comprendre. Elle fait donc intervenir un tissu d'éléments différents en grand nombre et leurs interactions, d'un côté, avec la capacité de la ou les personnes plus ou moins capables à traiter cette complexité, de l'autre. Elle se distingue ensuite de ce qui est compliqué par la relative imprévisibilité du résultat d'un système, due à la récursivité du fonctionnement des sous-composants sur eux-mêmes. Ainsi, pour montrer que les systèmes sont de plus en plus complexes pour l'homme, il faut montrer que les systèmes présentent de plus en plus d'éléments constituants différents et d'interactions en grand nombre, que les usagers sont de moins en moins capables à traiter cette complexité, et que l'imprévisibilité du résultat des systèmes est de plus en plus importante, ou au moins que la somme des trois éléments de démonstration précédents est supérieure sur le plan temporel. Il s'agira alors de montrer comment cette complexité croissante amène à une délégation inévitable de la responsabilité d'exploitation des systèmes.

A. La complexité numérique comme catalyseur

Il s'agit donc d'abord de montrer que les systèmes sont de plus en plus complexes au niveau du nombre d'éléments différents qui les constituent et de leurs interactions croissantes.

Si nous prenons ici comme exemple la transformation numérique de la société, ce n'est pas un hasard. Le numérique constitue aujourd'hui le principal vecteur de complexification des éléments qui environnent l'espace habité par les hommes. En effet, pour le Général d'Armée, Marc Watin-Augouard, fondateur du forum international sur la cybersécurité :

« La transformation numérique que nous vivons n'est pas une étape, ce n'est pas une évolution, ce n'est pas une mutation, elle n'est même pas une révolution, c'est une métamorphose. Je crois qu'il faut avoir à l'esprit l'idée que notre société est en train de se transformer, elle est dans le stade de la chrysalide, elle était verte, elle rampait sur un espace à deux dimensions, elle rentre dans un cocon, c'est le début de la transformation numérique, et là, on pense que c'est terminé, c'est fini. En fait tout commence, parce que nous allons nous réveiller papillon et je pense que ça va être dans la décennie dans laquelle nous nous trouvons aujourd'hui, que va s'accélérer profondément la transformation numérique. »^A

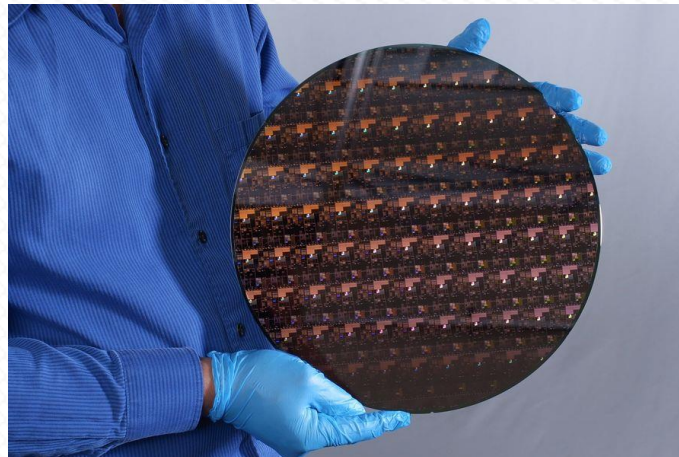
Il faut ici retenir l'idée de la chrysalide à deux dimensions et du papillon qui s'élève vers une troisième dimension. En effet, un objet mécanique que l'on pouvait considérer de manière isolée aux autres systèmes auparavant, peut être aujourd'hui connecté et relié à d'autres objets, et ainsi interagir non pas seulement avec lui-même, mais avec une potentielle multiplicité d'autres objets pour accomplir une tâche commune. Nous allons alors parler d'effet « réseau » de systèmes connectés qui interagissent entre eux et qui dépassent le simple stade de la relation usager/système. Ainsi, encore d'après Marc Watin-Augouard :

« En 2020, il y avait à peu près 80 milliards de machines connectées dans le monde, contre 4 milliards en 1969 et on parle de 1 000 milliards de machines connectées en 2030 »^B

[A] Conférence « La Cybersécurité : Enjeux de Défense et de Sécurité », organisé par la Faculté de Droit et Science Politique de l'Université Côte d'Azur, à Nice, le 8 Avril 2021

[B] *idem*

PHOTO 7 - PLAQUETTE DE PUCES DE 2 NANOMÈTRE RÉALISÉE PAR IBM



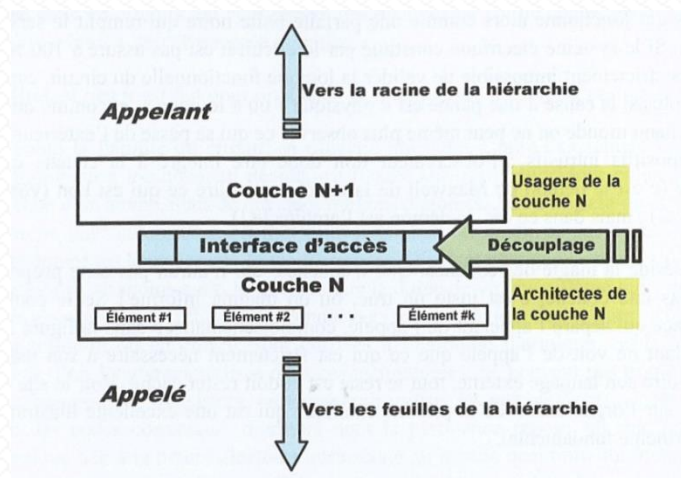
Source : IBM, 2021

IMAGE 34 - SUPERCALCULATEUR AURORA DE NOUVELLE GÉNÉRATION D'INTEL



Source : Intel, 2019

SCHÉMA 35 - LOGIQUE FONCTIONNELLE HIÉRARCHIQUE DES COUCHES



Source : Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 82

Cette accélération massive témoigne donc d'une croissance exponentielle de la transformation numérique des systèmes. Tout ceci pose alors la question de la **coopération des systèmes**, le deuxième principe fondamental de la systémique, selon Jacques Printz^A. Pour coopérer, les systèmes doivent pouvoir échanger entre eux avec un protocole de communication organisé comme un langage, le langage binaire par exemple (0 pour oui, 1 pour non). Ce langage sert alors à transmettre les informations, or plus il y a de systèmes dans le monde, plus il y a de coopération potentielle entre les systèmes, tel un réseau neuronal, plus il y a besoin d'un langage performant et d'une vitesse de calcul des informations performante. Toujours d'après Marc Watin-Augouard :

« En 25 ans, on a eu 700 000 fois plus de trafic internet, 700 000, ce n'est pas rien ... Et ça va être encore pire dans les mois, les années à venir. »^B

Les processeurs intégrés aux systèmes doivent donc être plus performants, sans nécessiter d'espace supplémentaire. Il va ainsi falloir augmenter le nombre de transistors dans les semi-conducteurs et donc graver de plus en plus petit. Le 6 Mai 2021, IBM a créé la première puce au monde en gravure de 2 nanomètres⁵⁵. Nous allons ainsi de ce côté-là dans **l'infiniment petit**.

Mais de l'autre nous cherchons aussi à aller de plus en plus loin dans les puissances de calcul avec les supercalculateurs, tel qu'Aurora qui verra le jour en 2021 et qui permettra d'atteindre les 1 milliards de trilliards d'opérations par secondes⁶⁸. Nous allons là dans **l'infiniment grand, l'infiniment rapide**.

Ce développement dans les deux extrêmes de l'infini montre bien à quel point la complexité des systèmes n'est pas seulement croissante mais exponentiellement croissante. En effet, **l'architecture de système de systèmes**, avec la puce (ou le transistor) comme couche d'élément primitif et le supercalculateur comme couche N supérieure, elle est à la fois tirée vers le bas par la miniaturisation des semi-conducteurs et elle à la fois tirée vers le haut par des supercalculateurs de plus en plus imposants et fournis en éléments constitutifs. Nous avons alors de plus en plus de couches dans la hiérarchie de l'architecture système.

Ainsi, nous le voyons bien, le numérique transcende nos capacités, que ce soit dans l'infiniment petit, l'infiniment grand ou l'infiniment rapide. Cela montre bien que les systèmes que nous développons sont de plus en plus complexes, que ce soit dans le nombre d'éléments qui les constituent, dans la vitesse croissante des interactions qu'ils gèrent ou dans leur capacité à coopérer avec une multiplicité croissante de systèmes. Il faut donc maintenant analyser comment l'homme arrive à traiter cette complexité croissante structurelle des systèmes.

C'est ce que nous allons voir dans le prochain point avec comme cas d'étude la proposition de valeur d'une start-up, Niosense, qui souhaite rendre plus intelligentes les infrastructures de la ville et notamment les feux de circulation.

[A] Printz, J. (2019). *Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique*. (1ère ed.). ISTE. p. 277

[B] Conférence « La Cybersécurité : Enjeux de Défense et de Sécurité », organisé par la Faculté de Droit et Science Politique de l'Université Côte d'Azur, à Nice, le 8 Avril 2021

IMAGE 35 - MARQUE NIOSENSE

niosense

Source : Niosense, 2021

PHOTO 8 - EQUIPE ET LOCAUX DU CENTECH



Source : Centech, 2021

IMAGE 36 - COFFRET DE GESTION DE FEUX DE SIGNALISATION



Source : Accor Solutions, 2021

B. La ville intelligente de Niosense

Niosense est une start-up québécoise qui a été fondée en 2020 suivant une approche structurée avec l'intention d'améliorer la mobilité dans les villes. Elle a été développée à l'aide du Centech, un incubateur québécois de calibre mondial dédié aux entreprises deeptech à fort potentiel de croissance. En l'occurrence, les programmes développés par le Centech s'intéressent fortement à toutes les innovations liées de près ou de loin à l'usage de la nouvelle technologie 5G^A, Niosense en est une des résultantes.

Ici, Niosense s'intéresse aux feux de circulation. En effet, les feux de circulation ont une partie visible, donc le feu vert, jaune et le rouge, et il y a une partie non-visible qui est présente à chaque coin de rue où il y a un feu, une boîte en tôle fermée qui contient les équipements qui gèrent les feux.

Niosense fait ainsi le constat que ces coffrets sont régis par des standards assez rigides et qui parfois datent de plusieurs dizaines d'années, soit un manque de modernité assez probant du système, mais qui a l'avantage de présenter un aspect sécuritaire puisqu'il fonctionne en circuit fermé et, est en quelques sortes immunisé contre les intrusions extérieures. Ainsi, si nous voulons que le feu soit plus intelligent et repère par exemple les voitures en attente pour adapter sa gestion de la circulation, il faut lui rajouter un système par superposition, soit un capteur de présence qui va repérer les voitures en attente. Mais ces capteurs coûtent de l'argent et diminuent la fiabilité et la maintenabilité du feu, donc cela coûte **plus cher à acquérir** et **plus cher à maintenir**.

L'enjeu pour Niosense était de diminuer les décélérations et les démarrages des camions et automobiles aux feux, lorsque par exemple un camion doit s'arrêter à un feu alors qu'il n'y a personne dans les autres directions. Ainsi, il s'agit de faire économiser du carburant, de réduire les émissions de Gaz à effet de serre, mais aussi de fluidifier le trafic routier et d'augmenter la sécurité routière, où nous le savons, les croisements sont source de beaucoup de problèmes. Il leur fallait alors donner un moyen de communication aux camions pour qu'ils « parlent » entre eux et avec le feu, pour donner une petite seconde de plus au bon moment pour donner un feu vert, une priorité dans certaines circonstances exceptionnelles, ou un virage à gauche qui va être bien placé pour être sûr de faciliter les mouvements de tous les usagers.

[A] Cinquième génération des standards pour la téléphonie qui propose des débits nettement plus élevés afin d'accompagner l'augmentation des usages numériques.

IMAGE 37 - AMÉLIORER LA MOBILITÉ DES POIDS LOURDS



Source : Niosense

IMAGE 38 - AMÉLIORER LA CIRCULATION DES PIÉTONS ET DES CYCLISTES



Source : Niosense

IMAGE 39 - AMÉLIORER LA MOBILITÉ DES VÉHICULES LÉGERS



Source : Niosense

Niosense s'est donc lancé dans la création d'une application mobile qui utilise la détection virtuelle et qui vient informer le feu de circulation sur l'ensemble des usagers qui sont présents. Patrick Lauzière, CEO de Niosense nous explique alors que :

« La clé de notre système, c'est en fait de ne pas avoir une seule source d'information, mais bien plusieurs sources d'informations. Que ça soit complètement ouvert et démocratisé et que ça soit ouvert à toutes les villes et sans frais. Tout ce qu'on a besoin en fait pour connecter avec le système de Niosense, c'est une application mobile qui peut-être soit la nôtre ou une application qui est faite par un tiers, ou une source de données tierce, par exemple les données publiques qui sont disponibles sur les mouvements de véhicules. Alors nous, on vient chercher toutes les sources de données puis on vient agréger ça dans des signaux qui vont être intelligibles pour le feu de circulation qui va permettre aux villes d'optimiser leurs déplacements. »^A

Nous le comprenons donc bien, il s'agit d'utiliser des données utilisateurs en **temps-réel** pour gérer les déplacements et les moyens de gestion de la circulation, là aussi en **temps-réel**. Ce projet mobilise donc une grande quantité d'informations à capter et à transmettre entre les systèmes. C'est donc dans ce cadre que la technologie 5G va apporter les bandes passantes nécessaires pour gérer toutes ces transmissions de données. Le projet va aussi mobiliser l'Edge Computing^B, puisque temps-réel oblige, ils ne peuvent pas se permettre des **temps de latence** dues à la transmission des données vers un centre de calcul à l'autre bout du monde pour revenir ensuite à l'endroit source.

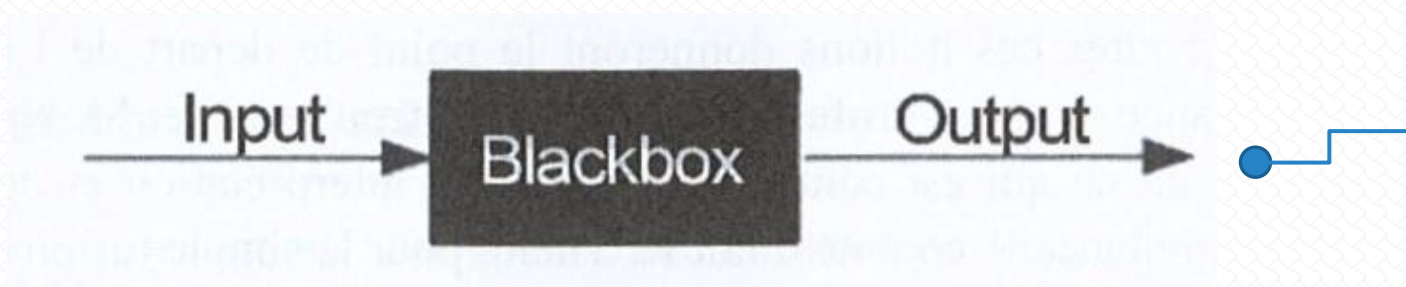
Alors pourquoi parlons-nous de ce projet pour montrer que les usagers sont de moins en moins capables de traiter la complexité ?

Parce que c'est un projet qui va dans le sens des innovations technologiques du moment, et il constitue donc en soit un bon référentiel d'analyse pour toutes les futures innovations liées à la 5G qui vont survenir dans la prochaine décennie. Et parce que nous allons pouvoir voir comment un usage automobile, qui est somme toute, assez largement démocratisé dans le monde d'aujourd'hui, va devoir évincer progressivement l'automobiliste des commandes du véhicule pour assurer la fiabilité d'un système de circulation automobile plus sécuritaire et efficient du point de vue énergétique.

[A] Conférence « La 5G au service de votre startup avec Niosense », organisé par le Collision Lab du Centech, à Montréal, le 15 Avril 2021

[B] Littéralement « Informatique en périphérie » qui consiste à traiter les calculs de données en local dans la périphérie proche d'une source de donnée. L'opposé donc du Cloud qui repose sur des hubs de datacenter.

SCHÉMA 36 - LA MÉTAPHORE DE LA BOÎTE NOIRE



Source : Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 65

En effet, il faut d'abord se représenter la métaphore de la boîte noire de Norbert Wiener¹⁷.

La boîte noire représente ici l'automobile. L'utilisateur automobiliste joue avec cette boîte noire pour comprendre son fonctionnement. Il tourne le volant à droite (**Input**) et l'automobile réagit et tourne à droite aussi (**Output**). L'utilisateur ne connaît pas forcément quel est le mécanisme qui lui permet de tourner à droite, mais il se souvient des résultats de ses actions passées et donc il agit instinctivement selon la situation qu'il voit en face de lui (**l'environnement**) pour décider des actions futures.

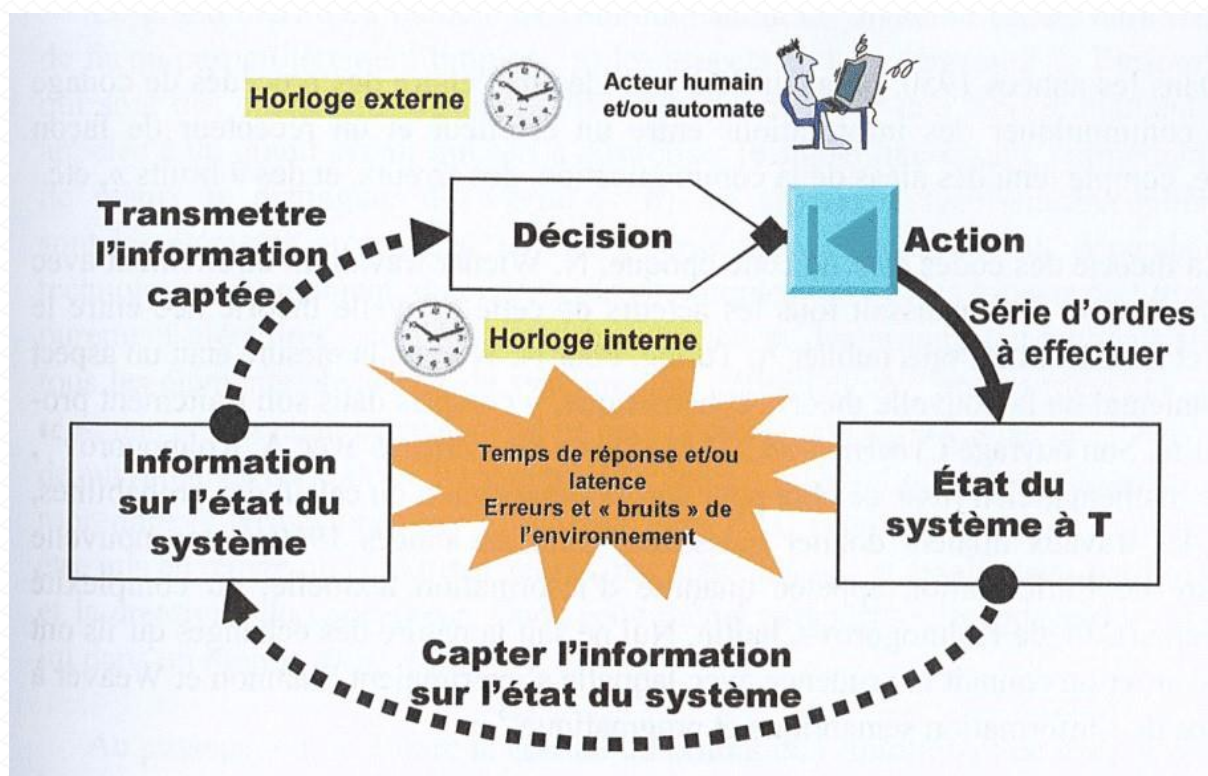
Ainsi, si l'on en revient à une situation comparable au projet de Niosense dont l'ambition finale est de supprimer complètement le besoin en feux de signalisation. Imaginons qu'il n'y ait donc plus de feux, ni de clignotants, ce sont les voitures qui communiquent entre elles pour savoir dans quelles directions elles vont. L'automobiliste ne voit donc plus les signaux utiles de son environnement, il ne sait pas où vont tourner les autres voitures, alors il panique et s'arrête. Il faut donc que la voiture lui informe par des signaux où vont aller les autres voitures, mais le temps que l'automobiliste analyse ces signaux, 2 secondes sont déjà passées et la situation a peut-être changée depuis, il doit donc re-analyser les signaux pendant 2 secondes pour confirmer et tourner. De plus, si l'on prend la situation dans le sens inverse, comment l'utilisateur peut communiquer à l'avance à la voiture quelle doit être sa trajectoire sur les 10 prochaines secondes pour permettre ensuite aux autres automobiles de savoir où va aller sa voiture.

Donc nous le voyons bien, le problème réside dans la transmission de données entre l'automobile et l'utilisateur. L'utilisateur n'envoie pas et ne réceptionne pas des mégabits de données à la seconde avec sa voiture. Dès lors que l'automobile est bien **plus capable** de recevoir, traiter et envoyer des informations que l'homme, son rôle est remis en cause. L'utilisateur automobiliste **devient un frein** non-négligeable à la fluidité de la circulation automobile. Il ne s'agit pas tant que l'utilisateur est moins compétent pour traiter la complexité, mais plutôt que ses compétences ne peuvent pas suivre la complexité croissante des systèmes et de leurs performances.

Ainsi, le développement progressif de la coopération entre les systèmes remplace inéluctablement celle de la coopération entre les hommes qui au bout d'un certain temps sera considérée comme moins performante et moins fiable. Nous le voyons bien dans les débats contemporains, seuls les problèmes d'éthique et de confiance freinent encore aujourd'hui ce remplacement, *mais pour combien de temps ?* La délégation du rôle de décisionnaire des systèmes à des automates est déjà un processus en cours et irrigue la transformation numérique de la société, nous l'avons vu avec la fusée de SpaceX pour laquelle l'automatisation de son fonctionnement a permis entre autres de pouvoir contrôler sa trajectoire et la faire revenir sur terre pour ensuite la réutiliser, ce qu'un homme n'aurait pas pu faire.

Nous avons donc vu que les systèmes étaient de plus en plus complexes et que leur maîtrise allait inévitablement être de plus en plus déléguée à des automates. Il nous reste donc à montrer maintenant pourquoi l'exploitation va-t-elle être, elle aussi, déléguée. Nous allons voir cela au travers du dernier point qui est dédié à la démonstration de l'imprévisibilité croissante du résultat des systèmes.

SCHÉMA 37 - LA BOUCLE DE RÉTROACTION FONDAMENTALE ET SES HORLOGES



Source : Printz, J. (2019). Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique. (1ère ed.). ISTE. p. 53

C. La problématique des systèmes ubiquitaires

Afin de démontrer l'imprévisibilité croissante du résultat des systèmes, nous allons parler de la problématique des systèmes ubiquitaires.

En effet, nous avons vu que la relative imprévisibilité du résultat des systèmes, due à leur récursivité, était une caractéristique des systèmes complexes. Le meilleur exemple en est certainement les lanceurs que nous avons vu en 2^{ème} partie. Après un lancement, les lanceurs étaient autrefois non-réutilisables, car le fonctionnement des systèmes sur eux-mêmes pendant le lancement dégradait grandement les parties constituantes, par exemple l'arrachement des câbles inter étages lors de la séparation des étages, ou encore plus simplement l'usure des parois (craquellement, fissures) sous l'action de la pression de poussée des moteurs.

Ainsi, dans le cas d'un système complexe, lorsqu'un système fait un tour de boucle de la boucle de rétroaction fondamentale, nous nous retrouvons avec un « État du Système à T+1 » qui n'est pas égal à « l'État du système à T ». Autrement dit, lorsque $1 + 1 = 2$ lors de la première boucle, $1 + 1 = 1,99$ ou $1 + 1 = 2,01$ lors de la seconde boucle. Il faut donc avoir à l'esprit cet exemple tout au long de ce point pour comprendre notre démonstration.

Très bien, *mais qu'est-ce que l'ubiquité vient faire là dans cet exemple ? Et surtout, avant tout, qu'est-ce que l'ubiquité ?*

Selon le dictionnaire du Larousse, l'ubiquité vient du mot latin « *ubique* » et qui veut dire « partout ». Le terme ubiquité désigne alors le fait **d'être présent partout à la fois** ou en plusieurs lieux en même temps^A. Le terme a aussi par ailleurs une connotation religieuse, dans le sens que l'ubiquité signifie donc l'omniprésence de quelque chose, ce que l'on peut assimiler à la faculté divine d'être présent partout en même temps.

Ainsi, l'association « informatique ubiquitaire » représente la multiplication des petits appareils informatiques dans l'environnement quotidien des utilisateurs, autrement dit **l'informatique présente partout**. Ces petits appareils désignent notamment les smartphones, les assistants personnels, les cartes à puces, les télévisions et consoles de jeu connectées ou plus largement tous les systèmes qui comportent des puces embarqués, comme dans les véhicules. Nous sommes donc aujourd'hui en plein dans cette ère de l'informatique ubiquitaire, auparavant elle se cantonnait à l'ordinateur personnel posé sur un bureau, aujourd'hui elle est présente partout dans une grande partie des objets que nous utilisons, nous l'avons vu dans les précédents points.

Or pour introduire ce que nous voulons démontrer, nous allons citer un extrait de la conquête de l'ubiquité de Paul Valéry publié en 1928. La société de l'époque venait alors de découvrir un essor extraordinaire de l'enregistrement sonore grâce à l'innovation du microphone et du disque 78 tours.

« Sans doute ce ne seront d'abord que la reproduction et la transmission des œuvres qui se verront affectées. On saura transporter ou reconstituer en tout lieu le système de sensations, — ou plus exactement, le système d'excitations, — que dispense en un lieu quelconque un objet ou un événement quelconque. Les œuvres acquerront une sorte d'ubiquité. Leur présence immédiate ou leur restitution à toute époque obéiront à notre appel. Elles ne seront plus seulement dans elles-mêmes, mais toutes où quelqu'un sera, et quelque appareil. »^B

Ainsi, le postulat de l'écrivain français était alors que les œuvres musicales allaient devenir d'une certaine façon ubiquitaire, ce que nous pouvons à priori largement confirmer aujourd'hui. Mais ce n'est pas là l'objet de démonstration, il consiste en fait en ceci : remplacements « œuvres musicales », par « **virus informatique** ».

[A] Définition du Larousse

[B] Valéry, P. (1928). *La conquête de l'ubiquité*. (Version numérique). *Les Classiques des sciences sociales*. p. 3

IMAGE 40 - PROJET TITAN AVEC L'APPLE CAR



Source : Apple, 2020

En effet, la multiplication des systèmes connectés, rappelons-le, 1 000 milliards de machines connectées en 2030^A, amène à se poser la question de la vulnérabilité de ces systèmes face aux virus informatiques qui eux aussi peuvent rapidement devenir ubiquitaires. Ainsi, si nous en revenons à notre boucle de rétroaction, les virus informatiques font partie de la catégorie des erreurs et bruits de l'environnement qui détraquent l'état du système, notamment sur la partie informationnelle du système, et qui augmentent donc le temps de latence de l'horloge interne du système, voir même l'arrête complètement.

Si l'augmentation relative du temps de latence d'un smartphone ne pose pas trop de problèmes, nous comprenons bien que l'augmentation du temps de latence d'un véhicule autonome pose là quelques soucis de plus grande envergure. Par exemple, Colonial Pipeline, un des plus grands opérateurs de gazoducs américains a dû cesser toutes ses opérations le 7 mai 2021 suite à une cyberattaque⁵¹. C'est alors 45% de l'approvisionnement en carburant de la côte Est américaine qui a été stoppé pendant 7 jours par un rançongiciel, et Colonial Pipeline a dû payer 5 millions de dollars aux pirates informatiques pour débloquer la situation.

Tout ceci montre donc que la **connectivité** d'un système influence grandement l'imprévisibilité de son fonctionnement, de son résultat. Plus le système est connecté aux autres systèmes, aux réseaux et plus il y a de points d'entrées pour des erreurs ou des attaques malveillantes. Le général d'armée Watin-Augouard établit une comparaison tout à fait pertinente à ce propos :

« Si vous prenez le métro à Paris, pour que la RATP mette des systèmes de contrôle à toutes les correspondances, toutes les sorties et ainsi de suite, eh bien, il leur faut du monde. Imaginez simplement qu'il y ait 3 ou 4 correspondances, eh bien automatiquement, c'est plus facile de contrôler. On comprend comment la Russie avec RuNet est capable de se couper du reste du monde en fermant ses correspondances. On comprend comment la grande muraille de Chine est chronique, elle est capable de s'isoler du reste du monde et de faire en sorte qu'on n'ait pas le même internet à Pékin qu'à Paris. L'Iran par exemple à 3 points de contrôle avec le reste du monde, c'est-à-dire qu'en fait, l'Iran peut tout contrôler, tout simplement parce qu'il n'y a que 3 points d'entrée et de sortie. »^B

C'est donc cette idée de réseaux fermés dans des réseaux ouverts qu'il faut retenir. En effet, pour contrôler et réduire les malveillances à l'égard des systèmes, il faut donc peut-être penser à **limiter la connectivité des systèmes sans pour autant en restreindre la connexité**, ou tout du moins à mettre en place un environnement réseau relativement fermé aux réseaux internet ouverts. Il est alors intéressant de voir que l'une des plus grandes capitalisations boursières qu'est Apple, plus de 2 200 milliards de dollars en 2021²⁴, et qui est un spécialiste des systèmes d'exploitation en environnement fermé^C, elle est en train de se positionner justement sur le marché de l'automobile et du véhicule autonome avec une Apple Car comme projet de développement⁴².

Mais elle n'est pas la seule puisque Huawei²⁸, Google⁴⁰, Tencent³⁵ et d'autres géants de la tech se lancent eux aussi dans la course au véhicule autonome, et notamment pour rattraper Tesla qui a de nombreuses années de développement d'avance.

Alors comment expliquer cet engouement des géants de la tech ?

[A] Conférence « La Cybersécurité : Enjeux de Défense et de Sécurité », organisé par la Faculté de Droit et Science Politique de l'Université Côte d'Azur, à Nice, le 8 Avril 2021

[B] Idem

[C] Sur ses produits iPhone et iPad par exemple, il est impossible de télécharger une application non validée au préalable par Apple. Les applications validées sont alors disponibles dans l'app store, limitant ainsi le téléchargement d'applications malveillantes dans l'environnement utilisateur Apple.

Il y a d'abord la transition vers les véhicules électriques qui fait perdre aux constructeurs automobiles traditionnels leur avance technologique notamment sur l'élément essentiel de la motorisation d'un véhicule thermique. Il y a ensuite un transfert de valeur sur le modèle automobile, la partie logicielle prend de plus en plus de poids, en atteste la multiplication des partenariats des constructeurs avec les géants de la tech pour développer de nouveaux logiciels automobiles embarqués. Enfin, et c'est la raison qui nous mène à la fin de notre démonstration, dans la perspective d'une conduite autonome des véhicules, c'est le système d'exploitation logiciel qui va devenir l'élément essentiel d'un véhicule, notamment pour **garantir la survie du véhicule dans le temps face aux aléas**, le constructeur automobile ne devenant alors que le sous-traitant fournissant la carcasse destinée à être pilotée. Et il s'agit là du troisième principe fondamental de la systémique définie par Jacques Printz, celui de **l'autonomie et de la capacité du système à survivre aux aléas et aux erreurs^A**, soit la sûreté de fonctionnement du système.

En effet, le système devenant de plus en plus complexe, l'utilisateur ne peut plus ni prendre la responsabilité de la maîtrise, ni négliger le rôle de son exploitation sous peine de mettre en péril sa propre sécurité. Le rôle de l'exploitant devient donc essentiel et ne peut pas être confié à n'importe qui, il doit avoir les qualifications et les compétences pour l'exploiter de manière sûre, ce qui correspond au profil du producteur/concepteur qui connaît en principe parfaitement le système qu'il a développé. Et visiblement, cela, les géants technologiques l'ont bien compris : **Celui qui exploitera les véhicules autonomes de demain sera celui qui les aura conçus.**

[A] Printz, J. (2019). *Architecture système et complexité, apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique.* (1ère ed.). ISTE. p. 278

II. D'un développement de systèmes exploitables à un développement de systèmes exploités

Nous l'avons vu, les systèmes deviennent de plus en plus complexes pour l'homme, notamment au travers de la transformation numérique de la société et des systèmes qui comportent de plus en plus de sous-systèmes informatiques embarqués, donnant alors une qualité (ou un défaut selon comment on le perçoit) ubiquitaire aux systèmes d'informations. Ces systèmes d'informations dépassent de loin les capacités d'analyse de l'état du système, de communication et de décision en temps-réel des hommes, ce qui les obligent de plus en plus à déléguer leur rôle de commandant de bord du système à des automates. Mais aussi à déléguer la responsabilité de l'exploitation du système pour garantir la sûreté de fonctionnement et ainsi la sécurité des usagers face aux aléas auquel seul l'automate pourra faire face, car lui seul peut coopérer avec l'environnement virtuel. Nous voyons donc bien qu'il y a un **potentiel de marché pour le SLI** qui va s'accroître d'années en années. Mais il va s'agir maintenant pour nous de voir si à l'avenir, les **freins de développement** que nous avons vus en première partie vont continuer d'exister, car il y a beau avoir un marché, si des solutions ne sont pas trouvées pour régler ces problèmes, son **potentiel ne se concrétisera pas**. Pour rappel, nous avons vu comme freins de développement du SLI, la méconnaissance et la difficulté du client à spécifier ses exigences de soutien, le problème du principe d'acquisition de biens et services et le problème du sur-mesure. Nous avons donc identifié 3 tendances économiques qui permettraient de solutionner ces problèmes à l'avenir.

A. L'évolution des modalités de contractualisation : Le « Performance-Based Logistics »

Nous l'avons vu, la contractualisation est un frein très important au SLI. Elle fait intervenir une relation client/fournisseur qui laisse peu de place aux paris de développement des concepteurs. En effet, le client a du mal à spécifier ses exigences de soutien et se réfère donc à des guides normatifs par principe de précaution, pour établir des contrats avec les candidats. Le candidat, lui, n'a pas la liberté de proposer une solution plus chère, mais plus efficace sur le temps, concurrence oblige. Il se retrouve donc bien souvent à devoir répondre aux mêmes normes sur tous les appels d'offres plutôt qu'à tenter des paris de développement. Il est ainsi incité à standardiser son offre en fonction des textes normatifs, plutôt qu'à chercher à développer des innovations de rupture pour accroître l'efficacité de ses solutions.

C'est face à ce constat que nous avons identifié une récente évolution des modalités de contractualisation, avec le « **Performance-Based Logistics** » (PBL), ou plus largement le « Performance-Based Contracting ». Littéralement, en français, cela nous donne la « Logistique basée sur les performances » ou le « Contrat basé sur les performances ». Ces contrats ont émergé dans les années 2000, avec le Département de la Défense américaine. Les militaires se sont rendus compte à ce moment-là que les coûts de soutien post-production, excédaient le coût de développement et de production par 2 ou 3^A. Ainsi, l'armée américaine dépensait plus d'argent en pièces de rechange et en réparation de systèmes d'armes qu'en achat de nouveaux. Les militaires américains ont donc commencé à mettre en place des contrats d'acquisition de systèmes d'armes basés sur la performance.

Alors qu'est-ce que cela veut dire ?

[A] Glas, A., Hofmann, E., & EBig, M. (2010, octobre 1). PERFORMANCE-BASED LOGISTICS : PORTFOLIO FOR CONTRACTING MILITARY SUPPLY. Researchgate. p.2.

En fait, plutôt que de contractualiser pour acquérir des biens et des services transactionnels, ils **contractualisent pour acquérir des performances**. C'est-à-dire qu'ils contractualisent avec un opérateur privé qui s'engage sur un résultat mesurable, et l'accomplissement de ce résultat est synonyme de clé de paiement. Ainsi, le client délègue presque entièrement les choix de conception, de réalisation, d'exploitation et de maintenance d'une solution technique à l'opérateur privé qui est libre de développer cette solution comme il l'entend pour parvenir à l'engagement de résultat. L'opérateur devient ainsi un intégrateur de solutions de conception, de réalisation, d'exploitation et de maintenance et prend tous les risques de développement à son compte pour atteindre l'obligation de résultat, ce qui devient un enjeu crucial pour lui, et l'amène à définir des exigences de soutien très importantes pour sécuriser sa clé de paiement. En effet, les performances peuvent notamment être jugées sur la disponibilité opérationnelle, la fiabilité, la maintenabilité ou la soutenabilité des systèmes d'armes et il convient alors pour le client de bien choisir ces indicateurs.

Ce n'est qu'en 2016, que l'armée américaine a publié un guide pour développer des contrats basés sur la performance²⁵, c'est donc encore très récent, mais cela commence à être adopté par toutes les armées du monde. Le plan de relance de la France pour l'après-crise Covid comprend notamment des contrats de performance énergétique pour trois sites de l'armée française⁵⁸. Selon un rapport de marché mené par Visiongain, le marché des Performance based logistics est estimé à 1,98 milliards de dollars aujourd'hui et devrait prospérer d'ici les prochaines années²⁶. En effet, un autre rapport provenant de Aerospace Industries Association estime que ces contrats pourraient, à terme, atteindre les 32 milliards d'économies annuelles pour l'armée américaine^A.

Ainsi, nous pensons véritablement que ces nouvelles modalités de contractualisation basées sur les performances permettront de régler le problème à la fois, de la spécification des exigences clients, mais aussi de la capacité du contractant à innover pour réduire le coût global du cycle de vie du système. En effet, pour Frédéric Gardès, P-DG du groupe Colas :

« Dans ce dispositif contractuel, le maître d'ouvrage n'a plus besoin de rentrer dans l'hyperdétail d'un projet. Son rôle consiste à vérifier que l'on a bien atteint le résultat qu'il exige de nous. Libre de s'organiser, l'entreprise peut ainsi décider de raboter ici pour réutiliser là, d'augmenter la part de matériaux recyclés dans les enrobés, de prendre la responsabilité de tester des innovations. En fait, elle est poussée naturellement à s'inscrire dans des logiques d'optimisations économiques, techniques et environnementales des infrastructures qui profitent ensuite à toutes les parties prenantes. »⁸⁴

Cependant, nous voyons bien là que le rôle de l'opérateur privé en tant qu'intégrateur de solutions techniques s'étend sur toute la durée du cycle de vie du système, c'est-à-dire en termes de conception, de réalisation, d'exploitation et de maintenance, **ce rôle nécessite une organisation tout à fait particulière**. En effet, les entreprises ont normalement plutôt tendance à se concentrer sur leur cœur de métier et à déléguer les autres savoir-faire à des sous-traitants ou des partenaires, pour concentrer leurs capacités d'investissements, innover dans leur cœur de métier et ainsi rester compétitifs par rapport à leurs concurrents. Un constructeur automobile ne va donc pas se mettre à investir dans des solutions ferroviaires, exception faite d'une éventuelle synergie.

La contractualisation basée sur les performances va donc exiger de l'opérateur **une intégration verticale de son modèle d'affaire** en amont, mais surtout en aval, pour étendre ses compétences, en interne ou en scellant des alliances, à la distribution et l'exploitation de ses propres produits, voire même à la maintenance de ceux-ci.

C'est ce que nous allons voir dans le point suivant.

[A] Aerospace Industries Association. (2009). "Modernizing Defense Logistics"

IMAGE 41 - TESLA MODÈLE S



Source : Tesla, 2021

IMAGE 42 - TESLA MODÈLE 3



Source : Tesla, 2021

B. L'évolution du modèle d'affaires : L'intégration verticale de l'exploitation

Un autre frein que nous avons vu, et non des moindres, était donc le problème du sur-mesure, notamment des études de soutien, mais aussi et surtout de la conception. En effet, la stratégie de conception sur-mesure par rapport aux exigences clients avait pour effet de démultiplier le besoin en études de soutien (et donc le coût d'investissement) par rapport au nombre de clients différents et donc de situations opérationnelles différentes à prendre en compte. Cette inflation du coût du développement des systèmes n'était alors pas en adéquation avec les contrats à engagement de moyens et à prix forfaitaires d'acquisition. En effet, face à la concurrence, les concepteurs/producteurs étaient donc obligés de mettre en place des stratégies de développement moins coûteuses, d'abord en rationalisant les études de soutien et de conception sur des gammes de produits, puis en diversifiant au maximum leurs catalogues de produits sur étagères (COTS) en variantant les performances de leurs systèmes d'une même gamme pour augmenter les chances de correspondance avec un besoin client. Nous parlions alors de Soutien Logistique Initial.

Mais nous le voyons bien, l'émergence des contrats de performance pourrait, à terme, faire bouger les lignes chez les industriels. En effet, ils ne sont plus désormais jugés sur leur capacité à développer des solutions techniques au plus faible coût d'acquisition, mais bien sur leur capacité à atteindre des objectifs de performance sur la durée. Il s'agit donc pour l'industriel de **maîtriser le mieux possible sa solution technique** pour pouvoir garantir sa clé de paiement. Ainsi, l'intérêt de la sous-traitance pour faire jouer la concurrence et faire baisser les prix, devient même plus relative puisque celle-ci se traduit par une perte de maîtrise pour l'industriel, soit une incompatibilité assez certaine avec le contrat de performance. Pire même, selon les modalités de contractualisation de la sous-traitance, **les intérêts financiers du sous-traitant pourraient l'amener à faire le choix de dégrader la solution technique** de l'industriel et ainsi fragiliser la clé de paiement de ce dernier.

C'est face à ce constat que nous avons identifié une récente évolution du modèle d'affaire des entreprises. Elles deviennent de plus en plus des intégratrices de solutions pour un client final, leurs bénéfices étant alors plus importants si la solution choisie dure plus longtemps et permet donc **d'augmenter le nombre de clés de paiement pour un seul système**, comme nous avons pu le voir avec la réutilisation de Falcon 9 par SpaceX.

Il ne faut pas chercher bien loin pour trouver ces évolutions, restons avec Elon Musk, et analysons le modèle d'affaires de Tesla. Tesla se concentre sur le développement d'un, voire deux modèles de véhicules en même temps, en l'occurrence des véhicules électriques. Chacun des modèles à son propre développement et surtout sa propre clientèle cible.

Tesla ciblait d'abord une clientèle aisée, adepte de la technologie et soucieuse de l'environnement avec son modèle S, ou plus succinctement avec son modèle Roadster, plus sportif. Elle s'est construit d'abord une image de marque de véhicules premium qui « font rêver ».

Elle a ensuite plus récemment ciblé une clientèle plus modeste, avec son modèle 3, sorti en 2016, pour élargir sa clientèle et donc ses ventes. Mais ces ventes répondent plus à un souci de financement du développement de Tesla plutôt qu'à une réelle stratégie de son modèle d'affaires. En effet, pour Elon Musk :

« Lorsque des gens achètent la voiture de sport Roadster, ils aident en réalité à financer le développement d'une voiture familiale low cost. »⁷⁵

IMAGE 43 - TABLEAU DE BORD ÉPURÉ D'UN MODÈLE 3 DE TESLA



Source : Tesla, 2021

Ainsi, la réelle stratégie du modèle d'affaires de Tesla se retrouve dans les clés de paiement post-achat. En effet, Tesla développe toute une gamme de **services premiums** associés à l'usage des véhicules Tesla. Nous pouvons citer notamment le réseau de stations Superchargeurs pour recharger très rapidement les véhicules électriques. Ce service est payant pour les modèles 3 et Tesla compte aujourd'hui à peu près 25 000 Superchargeurs à travers le monde⁶⁶. Il y a aussi le service de connectivité premiums à 10 dollars par mois qui permet d'ajouter un accès cellulaire au véhicule⁵⁰ (ici un lien très fort avec le Réseau Starlink mis en orbite par SpaceX). Mais surtout, Tesla commercialise depuis Juillet 2021 un service de conduite autonome qu'il a nommé « Full Self Driving » et qu'il facture par un **abonnement** de 199 dollars par mois⁵⁷.

Donc nous voyons bien cette stratégie de facturation client de services post-achat que Tesla met progressivement en place, si bien que nous pourrions postuler qu'à terme, un bon modèle d'affaire que Tesla pourrait mettre en place, serait de rendre gratuit l'accès à ses véhicules et ainsi d'élargir au maximum la clientèle pour au final facturer ses clients uniquement sur l'achat de services associés. Un modèle d'affaires qui existe déjà : le Freemium.

Ainsi, dans ce cadre, l'objectif pour Tesla est d'augmenter au maximum la durée de vie de ses véhicules pour maximiser le nombre de clés de paiement post-achat en matière de services. Tesla a mis donc en place une **intégration très verticale**. Tesla a investi dans des Giga Factory pour fabriquer elle-même ses véhicules et certains des sous-composants dits stratégiques comme les batteries et le moteur électrique. Cela lui permet donc de maîtriser la complexité structurelle de ses systèmes, de prendre à son compte les risques de ses paris de développement en matière d'innovation, mais de ce fait aussi, d'en avoir l'exclusivité des réussites par rapport à ses concurrents. **Tesla intègre donc les rôles de Producteur et de certains Fournisseurs**. Par ailleurs, Tesla ne distribue pas ses voitures par un réseau de concessionnaires, il les vend en direct sur présentation dans des showrooms, puis sur commande par Internet. **Tesla intègre donc le rôle de Distributeur**. Tesla a mis aussi en place une maintenance simple et peu coûteuse, par des moyens de diagnostics à distance et des mises à jour logicielles, comme nous pouvons le voir sur l'image 43, le tableau de bord est très épuré et ne comporte qu'un écran, ainsi une grande partie des tâches de maintenance concernent la partie informationnelle du système. Seuls quelques éléments comme le liquide des freins, la climatisation, les pneus et les filtres à air nécessitent des visites d'entretien et dont Tesla prend la responsabilité aussi avec ses centres de service Tesla. **Tesla intègre donc aussi le rôle de Mainteneur**.

Enfin, pour finir, Tesla n'intègre pas encore le rôle d'exploitant. En effet, elle vend encore pour le moment ses véhicules aux particuliers qui en deviennent donc les propriétaires. Mais la perspective des véhicules autonomes, et la stratégie de développement de services premiums post-achats laissent à penser qu'à terme le modèle d'affaires de Tesla puisse faire valoir un rôle d'exploitant de ses propres véhicules. Il est alors intéressant de noter que de son côté, Volkswagen vient de racheter en juillet 2021, la société de location de véhicules, Europcar Mobility Group⁵⁴, dont la flotte de véhicules est composée en grande partie de Volkswagen, afin de développer des solutions de mobilités nouvelles et innovantes « à la demande » telles que les modèles d'abonnement et de partage.

En effet, Volkswagen se lance elle aussi dans l'intégration verticale et a lancé mi-Juillet 2021 son nouveau plan stratégique pour la décennie à venir. Dans ce plan, le logiciel fait figure de pilier stratégique de développement pour la voiture Volkswagen de demain :

« Dans une logique de *mobility as a service* (mobilité en tant que service), Volkswagen souhaite s'orienter de plus en plus vers le développement logiciel et ainsi garder la main là où la valeur réside. Via sa filiale Cariad, le groupe a déjà développé la plateforme logicielle E³ 1.1 qui équipe les voitures électriques reposant sur la plateforme MEB. Elle a notamment permis à Volkswagen de proposer des mises à jour à distance à ses voitures »⁶²

Christian Senger, CTO du Groupe Volkswagen, y explique d'ailleurs que :

« D'ici la fin de la décennie, la conduite autonome va complètement changer le monde de la mobilité. En collaboration avec ARGO AI, nous développons un système de conduite autonome à la pointe de l'industrie qui nous permettra d'offrir des services de mobilité et de transport autonome totalement nouveaux. Le Groupe Volkswagen vise une part de marché significative et des flux de revenus supplémentaires dans cette future activité importante. »⁶²

Nous voyons donc bien là le projet de Volkswagen avec Europcar, il s'agira certainement de commercialiser et d'accueillir sur les sites existants d'Europcar, les véhicules autonomes et les activités dédiées à leur exploitation.

Ainsi au travers de ces exemples que sont Tesla et Volkswagen, nous pensons que les modèles de vente des systèmes sont en train de changer, passant **d'une conception, fabrication et vente de systèmes exploitables, à une conception, fabrication et location de systèmes exploités.**

C. L'évolution des modèles de vente : La location du service plutôt que l'acquisition du bien

Ce dernier point concerne donc le problème du principe d'acquisition, le troisième et dernier frein au SLI que nous avons vu. Nous l'avons déjà plus ou moins abordé au travers des points sur la contractualisation et sur l'intégration verticale, le principe d'acquisition amène les clients à négliger les coûts post-achats, ce qui contraint les industriels à minimiser leurs prestations SLI, voir à les standardiser indifféremment de la situation opérationnelle du client. En effet, l'argumentation de notre mémoire a, à de nombreuses reprises remis en cause le modèle de transaction où la propriété du système est transférée au client final.

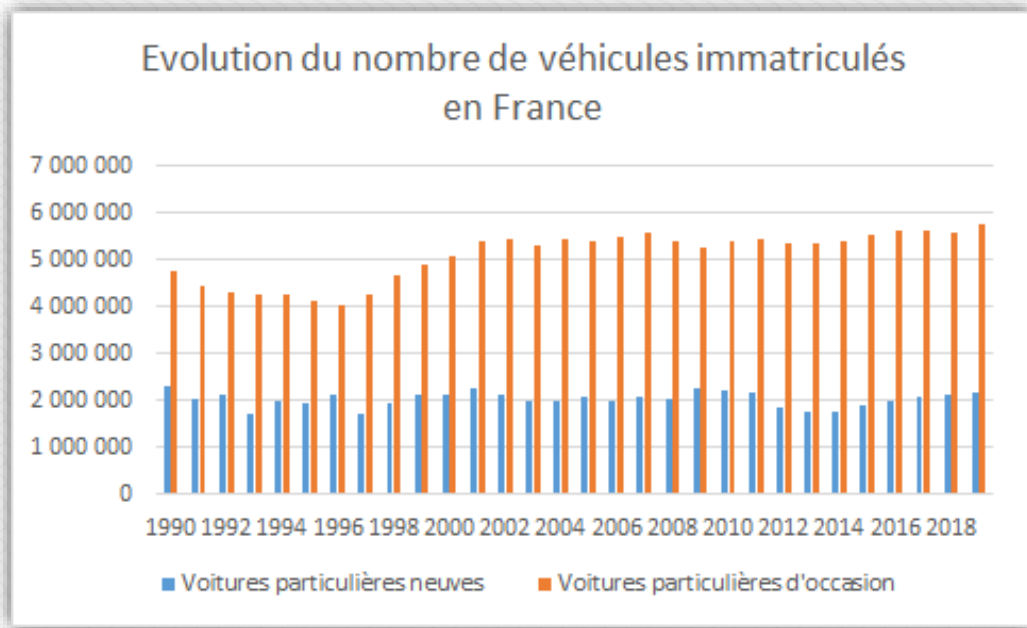
À côté de cela, nous venons de voir dans les précédents points que certaines sociétés à succès se lançaient dans des plans stratégiques d'intégration verticale des activités d'exploitation de leurs systèmes et donc à louer les services que ces derniers offrent plutôt que de vendre leur propriété. Il s'agit donc pour nous ici, d'identifier s'il y a une tendance économique qui apparaît en faveur de ce modèle de ventes qui dès lors serait favorable au déploiement du SLI.

Ainsi, les clients préfèrent-ils acheter ou louer ?

Si nous nous en tenons au secteur automobile, l'Association française des sociétés financières (ASF) nous avance des chiffres. En 2017, trois financements de voitures neuves particulières sur quatre (73%) ont été réalisés en France grâce au leasing^A, alors qu'en 2013, ce taux n'était que de 42%⁷⁴. En 2018, cette dynamique continue puisque le journal Lacroix avance une hausse de 25,7% pour le leasing et une baisse de 10,8% pour le crédit auto classique⁶⁹. Ainsi, nous voyons bien qu'il y a une **adhésion croissante des clients au financement d'un véhicule via un contrat de location**. En effet, pour les clients, cette formule leur permet de lisser leur budget auto sur chaque mois, de rendre plus lisibles leurs dépenses auto, de bénéficier de services de garanties et d'entretien complémentaires et enfin de pouvoir changer régulièrement de véhicule. Et cette adhésion ne se limite pas au secteur automobile, selon un sondage de l'Observatoire société et consommation (Obsoco), 77% des français disent privilégier l'usage à la possession.


[A] Littéralement en français "crédit-bail », il s'agit d'un contrat de location qui fait intervenir le vendeur, le loueur et un établissement de crédit qui assure le financement du matériel en achetant au vendeur et en louant au loueur.

FIGURE 22 - ÉVOLUTION DU NOMBRE DE VÉHICULES IMMATRICULÉS EN FRANCE



Source : Réalisation de Julien Deroubaix, d'après les données d'immatriculations de Developpement-durable.gouv, 2020

IMAGE 44 - LE BUSINESS MODEL DE LIZEE : FROM SELLING TO RENTING


Rental Solutions ▾ About us Blog ▾ [Get in touch](#)


Business case

An outdoor jacket

Consider this: by renting the same product over and over again, essentially it's like selling your product at least three times.

Classic selling model

Cost of good 10 - 20€	Sold once 120€	Gross Profit 100€
---------------------------------	--------------------------	-----------------------------



Lizee selling model

Cost of good 10 - 20€	Can be rented 8x 39 x 8 = 312€	Gross Profit 302€
---------------------------------	--	-----------------------------

+ 200 %
in gross profit

Source : Lizee, 2021

Par contre, pour le concessionnaire, les choses semblent plus compliquées. Si la formule du leasing permet ici de contracter un crédit-bail auprès d'un tiers et donc de financer immédiatement l'acquisition du véhicule du concessionnaire. Le contrat de location classique, lui, implique que le concessionnaire auto attende pour être payé. Il doit donc ponctionner dans sa trésorerie pour avancer les frais d'acquisition du véhicule auprès du constructeur, sauf si lui aussi loue le véhicule auprès du constructeur. Mais il y a bien à un moment de la chaîne un intermédiaire qui doit payer de sa poche l'investissement. Ainsi le gros point noir du modèle locatif, c'est **qu'il nécessite beaucoup d'investissements**. La plupart des loueurs automobiles comme Europcar, Avis, Enterprise ou encore Hertz, sont endettés pour le financement de leurs flottes. D'ailleurs, Hertz a déposé le bilan aux Etats-Unis suite à la crise du Covid, en 2020⁵².

Pour autant, le modèle locatif présente tout de même de grands avantages pour les loueurs. En effet, il faut noter que le marché du commerce d'occasion est en plein boom de nos jours, grâce notamment à la digitalisation des échanges en B to C, mais aussi et surtout en C to C. En 2020, le marché de l'occasion a été estimé à plus de 7,4 milliards d'euros en France. Il touche particulièrement le secteur de l'automobile où chaque année, on compte **plus de 2,5 fois plus de voitures particulières d'occasion immatriculés que les voitures particulières neuves**.

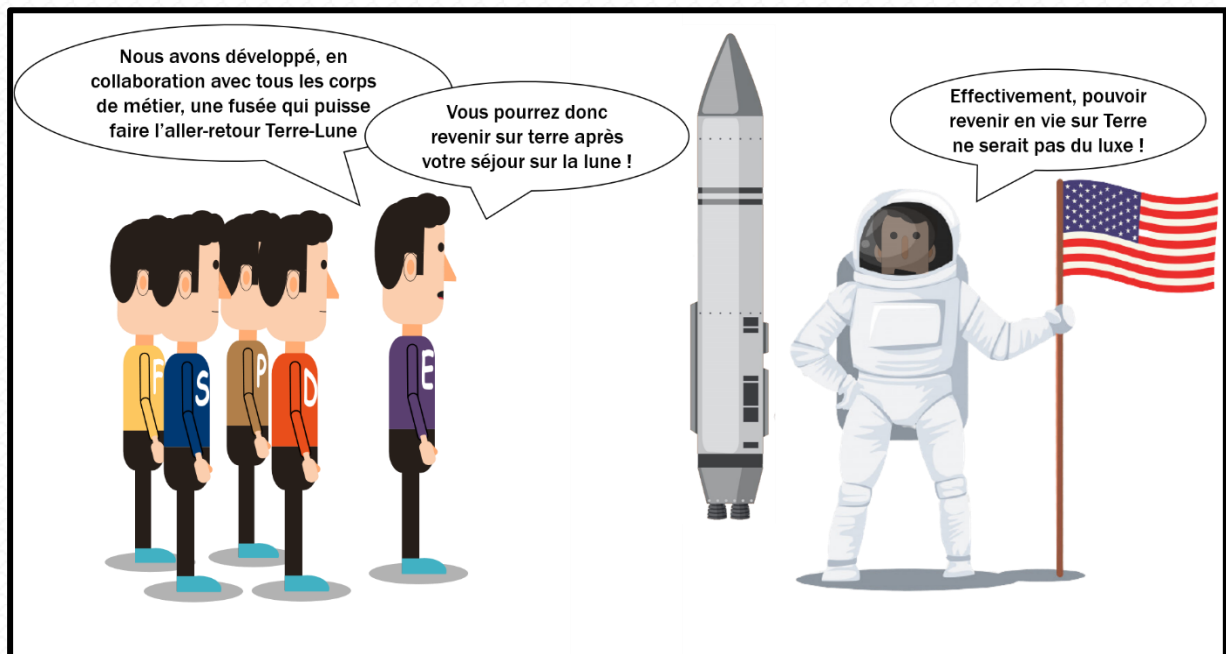
Or adopter un modèle de location pour un constructeur ou un concessionnaire peut présenter l'avantage de **contrôler la vie du système**. En effet, garder la possession du système permet de récupérer plusieurs fois des profits plus élevés que s'il n'y avait eu qu'une seule transaction, l'entité gère les transactions de la première à la dernière main. C'est le constat qu'a fait la start-up Lizee, gagnante du challenge Start Me Up 2020 supervisé par Fevad et KPMG.

D'autres modèles de location ont aussi émergé récemment. Nous pouvons notamment citer, Sixt, un loueur de véhicule de classe internationale, qui a lancé une tout autre stratégie de location, celle de l'**abonnement**. Le client contracte un abonnement auto au service Sixt+, comme s'il contractait un abonnement téléphonique, et il a alors accès à tout un catalogue de véhicules disponibles. La flotte est entretenue et maintenue par Sixt, le client n'a que très peu de responsabilités. Ce modèle permet alors de régulariser les clés de paiement pour Sixt. Nous pouvons aussi citer l'émergence de services de « **Car Sharing** », avec notamment l'acquisition de DriveNow par BMW en 2018. Il s'agit alors d'exploiter des véhicules qui sont librement garés dans la zone de la ville ou des activités. Le client paye alors un tarif forfaitaire par minute d'usage. On nomme ce modèle le « **Pay per Use** ». C'est typiquement le modèle utilisé par les AutoLib ou les trottinettes en libre accès.

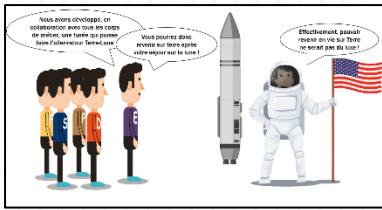
Ainsi, nous pouvons le voir, la location du service est un modèle de vente qui émerge depuis un peu plus d'une décennie. Il est plébiscité par les clients, un peu moins par les loueurs qui prennent de gros risques financiers, mais qui peuvent aussi réaliser de gros profits si les phases d'exploitation et de maintenance des systèmes sont bien gérées. À titre d'exemple, en 2018, Sixt a réalisé un chiffre d'affaires consolidé de 2,93 milliards d'euros et a réussi à générer un résultat d'exploitation (EBIT) de 336,7 millions d'euros, soit un ratio de 11,5% du CA^A.

[A] Résultats financiers SIXT 2018 : Meilleur exercice et plus grand prestataire européen de services de mobilité. (2019, mars 21). Sixt Magazine. Consulté le 15 septembre, à l'adresse <https://www.sixt.fr/magazine/actualites/sixt-resultats-financiers-2018/>

CONCLUSION



UN SCHISME LOGISTIQUE PROFOND EST EN COURS D'ÉCLOSION ENTRE SUPPLY CHAIN ET SUPPORT CHAIN



Cette illustration représente à gauche, divers intervenants, en l'occurrence un exploitant, suivi d'un distributeur, d'un producteur/concepteur, d'un fournisseur et d'un chargé du soutien, tandis qu'à droite nous avons une fusée, ainsi qu'un astronaute que nous pouvons assimiler à un usager. L'exploitant, qui semble mener le groupe, interpelle l'astronaute pour lui signifier qu'ils avaient réussi tous ensemble à développer une fusée qui puisse faire l'aller-retour Terre-Lune. La

réponse de l'astronaute ne se fait pas attendre et il convient effectivement que ce serait tout de même mieux pour lui de pouvoir rentrer en vie sur Terre, ce qui de toute évidence ne lui semble pas être un luxe à titre personnel.

Ici, l'humour de la scène n'est pas exagéré, il est assumé dans le sens qu'il nous permet à la fois de faire écho à la problématique de notre mémoire et en même temps d'en donner un élément de réponse assez intuitif. En effet, la sécurité de l'utilisateur ne peut pas être considérée comme un luxe, et rien que cet argument peut faire valoir l'intérêt de l'usage de la prestation du SLI pour un système. Pour autant, cette seule raison ne justifie pas tous les coûts qu'implique le SLI et c'est pourquoi dans l'univers des entreprises, le management de la qualité s'est bien plus rapidement déployé que le management du soutien.

L'autre point important à considérer dans cette scène est ce groupement d'intervenants qui a mutualisé ses efforts pour développer une solution technique qui résout le problème de l'astronaute. Il met en relief une organisation bien distincte à celle des Supply Chain. En effet, là où le Supply Chain Management pilote de grands réseaux de fournisseurs de fournisseurs ou de sous-traitant de sous-traitant, le SLI, lui, pilote des chaînes de soutien restreintes intégrés à l'environnement système. Autrement dit, les Supply Chain ont tendance à s'étendre en longueur par effet d'externalisation, tandis que les Support Chain ont tendance à se raccourcir en longueur par effet d'intégration verticale des savoir-faire. **Ainsi, le terme « Support Chain » est-il vraiment approprié ?**

Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Au début de ce mémoire, nous nous sommes posé plusieurs questions. D'abord notre problématique centrale : *Le Soutien Logistique Intégré est-il voué à rester une prestation de luxe du Supply Chain Management ?*

Puis nous avons identifié des axes de recherche au travers des questions intermédiaires suivantes : *Le SLI a-t-il un réel intérêt ? Qui peut se permettre de l'employer ? Dans quelles mesures ? Quels sont les facteurs bloquants à son emploi ? Y a-t-il des succès économiques grâce au SLI ? Le SLI peut-il permettre une plus grande compétitivité de l'offre des entreprises ? Quelles conjonctures économiques et sociétales peuvent favoriser son emploi ? Aura-t-on réellement besoin du SLI à l'avenir ?*

Ces questions ont guidé le long cheminement qu'a été notre mémoire sur la base d'identification d'exemples pertinents, de réflexion d'éléments de démonstration cohérents et de décèlement d'éléments de réponses. Ainsi, à la vue de notre dernière case de BD de conclusion, il semblerait qu'une réponse relativement simple puisse être donnée à notre problématique : « Non le SLI n'est pas une prestation luxueuse puisqu'elle est nécessaire pour les systèmes qui peuvent mettre en danger des usagers ». Or, nous l'avons vu, la prestation SLI requiert une **approche extrêmement spécialisée** sur un unique produit. Pas sûr donc que ce seul motif soit suffisant pour inciter les entreprises généralistes à transformer complètement leur modèle d'affaires.

En effet, nous nous garderons bien de prédire l'avenir. S'il y a bien une chose que la crise du Covid-19 nous a apprise, c'est qu'il faut éviter de se conforter dans des certitudes de croissance de marché. Pour autant, notre étude nous a permis de faire ressortir des tendances de marché assez intéressantes et qui pourraient aller dans le sens d'une révolution des modèles d'affaires des entreprises. Le triptyque de cette révolution, constitué de la **contractualisation basée sur les performances**, de la **location de l'usage** et de l'**intégration verticale** des modèles d'affaires pourrait en effet réorganiser en profondeur, non pas seulement la proposition de valeur des entreprises, mais aussi les Supply Chain Internationales. *Que penser par exemple des Supply Chain internationales automobiles, à l'aube de l'explosion du modèle intégrateur prôné par Tesla ?*

Plus concrètement, ce que nous constatons, c'est qu'il y a deux modèles qui sont en train de s'opposer aujourd'hui. Il y a le **modèle externalisant** de la Supply Chain, requérant les services du Supply Chain Management pour piloter la gestion d'une chaîne d'approvisionnement un peu plus complexe chaque jour. Et le **modèle intégrateur** de la Support Chain, requérant les services du Soutien Logistique Intégré pour piloter la gestion de la chaîne de soutien de systèmes un peu plus complexes chaque jour. Comprenons bien là que la Support Chain n'inhibe pas complètement la Supply Chain et inversement. Il ne peut pas y avoir de Support Chain sans une Supply Chain initiale pour produire et acheminer les éléments du système jusqu'à leur assemblage, de même qu'il ne peut pas y avoir de Supply Chain sans une Support Chain finale pour gérer la fin de vie du produit. *Mais qu'en est-il du Supply Chain Management dans les modèles intégrateurs ? Et qu'en est-il du Soutien Logistique Intégré dans les modèles externalisés ?*

De ce point de vue, nous voyons bien que notre problématique est assez compliquée à traiter, car le Soutien Logistique Intégré ne fait pas particulièrement partie du Supply Chain Management, bien au contraire, ce sont plutôt deux formes de management opposables dans leurs méthodes, et dans leurs résultats. Seule, leur volonté de réduire les coûts les rassemble. Ainsi, la question serait plutôt : *Que faut-il pour que le Supply Chain Management s'intéresse au Soutien Logistique Intégré ?*

Dans ce cadre, nous pouvons sans aucun doute dire : **moins de complexité !** En effet, la rigueur méthodologique de l'ASL, combiné à la complexité liée à la gestion de l'information logistique de la BASL rendent compliqué l'accès à la démarche SLI. Ajoutons à cela la composante multi-actorielle de la Supply Chain, et nous comprenons bien que cette gestion de l'information logistique devient quasi-impossible dans un environnement où les pièces, les produits changent de mains à de nombreuses reprises. En effet, *qui s'occupe de gérer, transmettre, contrôler, adapter l'information logistique du soutien sur toute la chaîne ?^A*

^A Sur ce volet, des sociétés spécialisées en management de l'information logistique du soutien auront peut-être leur carte à jouer pour réunir toutes les parties prenantes de la Supply Chain.

Mais à terme, cela pourrait changer, la transformation numérique avec le Cloud, l'Intelligence artificielle, la 5G, le Big Data, la Blockchain, l'Edge Computing, la robovolution, le transhumanisme ou encore la technologie de l'ordinateur quantique, sont autant d'arguments qui montrent que les systèmes deviendront de plus en plus complexes à l'avenir. Ce qui nous l'avons vu, accroîtra l'enjeu du soutien de ces systèmes et donc la pertinence économique du SLI. Nous pourrions douter de la pertinence de ces technologies et de leurs réels usages dans la société, mais quand nous voyons Vladimir Poutine dire que :

« Celui qui deviendra leader en intelligence artificielle sera le maître du monde. »⁶⁵

Nous comprenons bien que ces technologies sont les enjeux stratégiques de demain.

Nous pensons donc que le Soutien Logistique Intégré aura, à terme, un rôle incontournable dans la gestion du cycle de vie des systèmes complexes, et que son éclosion fera apparaître au grand jour le schisme^A du management logistique entre le SCM et le SLI, avec la coexistence de grandes Supply Chain externalisées pour les produits à plus faible valeur, et des Support Chain spécialisées incarnées par de grands groupes intégrateurs pour les systèmes complexes.

Pour autant, le marché du SLI n'en est qu'à ses balbutiements aujourd'hui, et il n'existe pas encore de prestataire logistique capable de traiter ce type de besoin. Un besoin qui reste fortement ancré dans des logiques de développement internes aux constructeurs de systèmes. **Le SLI est donc bien une prestation de luxe que ne peuvent pas se payer les prestataires logistiques pour le moment.**

[A] Le schisme a une très forte connotation religieuse, il représente l'acte par lequel un groupe de personnes appartenant à une confession religieuse se sépare de celle-ci et reconnaît une autorité spirituelle différente. L'usage de ce terme est donc assumé pour faire le lien avec les entreprises qui prendront le risque de se séparer de la logique SCM vers la logique SLI.

ANNEXE 1 : SOURCES BIBLIOGRAPHIQUE ET WEBOGRAPHIQUES

I. ARTICLES ET LIVRES SCIENTIFIQUES :

1. Bahers, J-B., Capurso, I. et Gossart, C. (2015). « Réseaux et environnement : regards croisés sur les filières de gestion des Déchets d'Équipement Électriques et Électroniques à Toulouse et à Milan ». *Flux* N° 99, no 1 : 32. <https://doi.org/10.3917/flux.099.0032>
2. Bellaouar, A. (2013-2014). « Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité ». *Faculté des Sciences de la Technologie, Département Génie des Transports, Université de Constantine 1*.
3. Darré, Y. (1993). « La fonction logistique : une nouvelle fonction dans l'entreprise ». *La documentation française*.
4. Delsaut-Furon, S., Trentesaux, D. et Tahon, C. (2000). « Le Soutien Logistique Integre Pour La Conception De Systemes Surs De Fonctionnement ». *Academia*.
5. Delsaut-Furon, S., Trentesaux, D., & Tahon, C. (1999). « Soutien Logistique Intégré et Méthodologie de conception ». *Researchgate*.
6. Dollfus, O. (1994). « Chapitre I. L'espace Monde, un espace géographique ». In *L'Espace Monde. Géo-poche*.
7. Graczyk. (2010). « Fiabilité – Maintenabilité – Disponibilité ». *BTS ATI 2, Université d'Angers Glas, Andrea, Erik Hofmann, et Michael Ebig. « Performance-based logistics: a portfolio for contracting military supply », 2011*.
8. Le Moigne, R. (2013). « Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente ». (1ère éd.), *Dunod*.
9. Le Moigne, R. (2017). « Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente ». (2ème éd.), *Dunod*.
10. Lyonnet, B., & Senkel, M.-P. (2015). « La logistique ». *Dunod*.
11. Méquignon, M. (2012). « Durée de vie et développement durable ». *Les Cahiers de la recherche architecturale et urbaine*, no 26/27 : 225-32. <https://doi.org/10.4000/crau.587>.
12. Michel, S., Weiser, F., de Tocqueville, E. (2014). « Retours d'expérience et perspectives pour le soutien logistique intégré ». (19ème Congrès de Maîtrise des Risques et Sûreté de Fonctionnement).
13. Morin, E. (1977 à 2004). *La Méthode. (Plusieurs éditions de 6 tomes). Le Seuil*
14. Pimor, Y., Fender, M. (2008). « Logistique ». 5ème édition. *Dunod, 2008*.
15. Printz, J. (2019). « Architecture système et complexité : Apport des systèmes de systèmes à la pensée systémique ». *ISTE*.
16. Valery, P. (1928). « La conquête de l'ubiquité ». (Version numérique). *Les Classiques des sciences sociales*.
17. Wiener, N. (1948). « Cybernétique et société ». (1ère ed.). *Seuil*.
18. ZURBUCH, K., Olivier, H., Giovannini, P., & Tuitou, I. (2018, octobre). « Spécification ASD S3000L : Retour d'expérience dans le cadre d'un programme complexe ». *Congrès Lambda Mu 21 " Maîtrise des risques et transformation numérique : opportunités et menaces " à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02074933>*

II. RAPPORT :

19. Afnor. (1994, décembre). « X50-420 : Management des systèmes - Soutien logistique intégré - Concepts généraux ». Normes nationales et documents normatifs nationaux. Consulté le 12 février 2021. Repéré à : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/x50420/management-des-systemes-soutien-logistique-integre-concepts-generaux/fa039484/56977>
20. Afnor. (2010, octobre). « NF EN 13306 : Maintenance - Terminologie de la maintenance ». Normes nationales et documents normatifs nationaux. Consulté le 29 février 2021. Repéré à : <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-13306/maintenance-terminologie-de-la-maintenance/fa159291/1103>
21. BM. (2020). « PIB (\$ US courants) | Data ». Banque Mondiale. Consulté le 4 Avril 2021. Repéré à : <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.MKTP.CD>
22. FAA. (2009). « Semi-Annual Launch Report: Second Half of 2009 ».
23. FAA. (2018). « The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018 ».
24. Gaudiaut, T. (2021, 1 juillet). « Infographie : L'ère des géants de la tech ». Statista Infographies. Consulté le 5 septembre 2021. Repéré à : <https://fr.statista.com/infographie/22656/classement-entreprises-capitalisation-boursiere/>
25. U.S. Department of Defense. (2016). « PBL Guidebook, A guide to developing Performance-Based Arrangements. ».
26. Visiongain Ltd. (2019). « Performance Based Logistics (PBL) Technologies in the Defence Industry 2019-2029 : Market Forecasts by Component (Airforce, Army, Navy), by Platform, Analysis—GII. ». Consulté le 8 septembre 2021. Repéré à : <https://www.giiresearch.com/report/kt885382-performance-based-logistics-pbl-technologies.html>

III. PRESSE :

27. AFP. (2020, 22 décembre). « La Chine lance une nouvelle fusée réutilisable, à terme ». La Croix. Repéré à : <https://www.la-croix.com/Chine-lance-nouvelle-fusee-reutilisable-terme-2020-12-22-1301131629>
28. Ball, Y. (2018, 22 février). « Huawei dévoile la première voiture autonome au monde pilotée par un smartphone ». PhonAndroid. Repéré à : <https://www.phonandroid.com/huawei-devoile-premiere-voiture-autonome-monde-pilotee-smartphone.html>
29. Barensky, Stefan. (2017, 28 novembre). « Les vrais chiffres de la compétitivité d'Ariane 6 ». Aérospatium, sect. Espace. Repéré à : <https://www.aerospatium.info/vrais-chiffres-de-la-competitivite-ariane-6/>
30. BBC. (2015, 6 janvier). « SpaceX Scrubs Rocket Recovery Launch ». BBC News, sect. Science & Environment. Repéré à : <https://www.bbc.com/news/science-environment-30696895>
31. Bertaud, D., et Durand, S. (2019, 19 mars). « L'ambition spatiale de la Chine ». GEM ONU. Repéré à : <https://gemonu.com/2019/03/19/lambition-spatiale-de-la-chine/>
32. Cabirol, M. (2016, 14 août). « Lanceurs réutilisables : SpaceX continue son show ». La Tribune. Repéré à : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/lanceurs-reutilisables-spacex-continue-son-show-592474.html>
33. Cabirol, M. (2018, 19 septembre) « Quand Arianespace flirte avec une perte colossale ». La Tribune. Repéré à : <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/quand-arianespace-flirte-avec-une-perte-colossale-790871.html>

34. Clairet, B. (2019, 26 décembre). « SpaceX : Un programme chargé avec près de 3 lancements par mois en 2020 ». Toms Guide : actualités high-techs et logiciels. Repéré à : <https://www.tomsguide.fr/spacex-un-programme-charge-avec-pres-de-3-lancements-par-mois-en-2020/>
35. Claudel, M. (2017, 29 août). « Avec ambition, le géant chinois Tencent se lance dans la voiture autonome ». Numerama. Repéré à : <https://www.numerama.com/tech/284686-le-geant-chinois-tencent-se-lance-dans-la-voiture-autonome.html>
36. Clément, G. (2021, 30 avril). « Semi-conducteurs : Une pénurie inédite ». Le Revenu. Repéré à : <https://www.lerevenu.com/placements/economie/semi-conducteurs-une-penurie-inedite>
37. CNES. (2019, 21 février) « Préparation des lanceurs du futur—Le CNES et ArianeGroup lancent la plateforme d'accélération ArianeWorks ». presse.cnes.fr. Repéré à : <https://presse.cnes.fr/fr/preparation-des-lanceurs-du-futur-le-cnes-et-arianegroup-lancent-la-plateforme-dacceleration>
38. Decourt, R. (2019, 15 juin). « Falcon Heavy : 24 satellites à lancer sur trois orbites différentes ! ». Futura sciences, sect. Astronautique. Repéré à : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/acces-espace-falcon-heavy-24-satellites-lancer-trois-orbites-differentes-66884/>
39. Decourt, R. (2021, 7 Mars). « Themis : Des réservoirs volants pour préparer l'après Ariane 6 ». Futura. Repéré à : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/lanceur-themis-reservoirs-volants-preparer-apres-ariane-6-84815/>
40. Ducamp, P. (2018, 6 décembre). « Google lance son service de voitures autonomes, Waymo One ». BFMTV. Repéré à : https://www.bfmtv.com/auto/google-lance-son-service-de-voitures-autonomes-waymo-one_AV-201812060084.html
41. Durand-Parenti, C. (2019, 12 mars). « Nasa : Un budget en hausse pour tirer des plans sur la lune ». Le Point. Repéré à : https://www.lepoint.fr/astronomie/nasa-un-budget-astronomique-pour-tirer-des-plans-sur-la-lune-12-03-2019-2300287_1925.php
42. FR24 News. (2020, 21 décembre). « Apple contre Tesla ? Une voiture autonome Apple arrivera sur le marché en 2024, selon Reuters ». FR24 News France. Repéré à : <https://www.fr24news.com/fr/a/2020/12/apple-contre-tesla-une-voiture-autonome-apple-arrivera-sur-le-marche-en-2024-selon-reuters.html>
43. Franceinfo. (2021, 26 janvier). « Covid-19 : La pandémie ampute le PIB mondial de 22 000 milliards de dollars entre 2020-2025 estime le FMI ». Franceinfo. Repéré à : https://www.francetvinfo.fr/sante/maladie/coronavirus/covid-19-la-pandemie-ampute-le-pib-mondial-de-22-000-milliards-de-dollars-entre-2020-2025-estime-le-fmi_4272337.html
44. Garonne, C. (2021, 9 janvier). « Les CubeSats, Un Exemple d'innovation Low Cost Dans l'industrie Spatiale ». The Conversation. Repéré à : <http://theconversation.com/les-cubesats-un-exemple-dinnovation-low-cost-dans-lindustrie-spatiale-129375>
45. Gavois, S. (2019, 22 novembre). « Ariane 6 face à « un effondrement » du marché géostationnaire et à la montée en flèche du New Space ». Next Inpact. Repéré à : <https://www.nextinpact.com/article/29822/108437-ariane-6-face-a-effondrement-marche-geostationnaire-et-a-montee-en-fleche-new-space>
46. Gavois, S. (2017, 15 mars). « SpaceX : Un contrat à 96,5 millions de dollars avec l'US Air Force, un lancement demain matin ». Next Inpact. Repéré à : <https://www.nextinpact.com/article/25903/103690-spacex-contrat-a-965-millions-dollars-avec-us-air-force-lancement-demain-matin>
47. Henry, C. (2020, 21 mai). « D-Orbit Preps for in-Orbit Transportation Business with Upcoming Arianespace and SpaceX Launches ». Spacenews. Repéré à : <https://spacenews.com/d-orbit-preps-for-in-orbit-transportation-business-with-upcoming-arianespace-and-spacex-launches/>

48. I-T. (2017, 22 mai). « Comment les acteurs du marché des satellites cherchent à réduire les coûts ». Industrie-techno. Repéré à : <https://www.industrie-techno.com/article/comment-les-acteurs-du-marche-des-satellites-cherchent-a-reduire-les-couts.49604>
49. Julien, C. (2019, 30 août). « Trump crée un commandement militaire spatial pour sa future « Armée de l'Espace ». La Tribune. Repéré à : <https://www.la Tribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/trump-cree-un-commandement-militaire-spatial-pour-sa-future-armee-de-l-espace-826722.html>
50. Lambert, F. (2019, 7 décembre). « Tesla starts charging \$10 a month for its « premium connectivity » features ». Electrek. Repéré à : <https://electrek.co/2019/12/07/tesla-starts-chargin-month-premium-connectivity-features/>
51. LaTribune. (2021, 10 mai). « Pétrole : Une cyberattaque paralyse Colonial Pipeline qui achemine 45% des carburants de la côte Est des États-Unis ». La Tribune. Repéré à : <https://www.la Tribune.fr/entreprises-finance/industrie/energie-environnement/une-cyberattaque-paralyse-colonial-pipeline-operateur-majeur-de-l-acheminement-du-carburant-aux-etats-unis-884294.html>
52. Leparmentier, A. (2020, 23 mai). « Criblé de dette, Hertz se déclare en faillite ». Le Monde. Repéré à : https://www.lemonde.fr/economie/article/2020/05/23/criblee-de-dette-hertz-se-declare-en-faillite_6040512_3234.html
53. LePoint.fr, L. (2020, 9 décembre). « Cyberattaques : Les entreprises françaises touchées plus que jamais ». Le Point. Repéré à : https://www.lepoint.fr/high-tech-internet/cyberattaques-les-entreprises-francaises-touchees-plus-que-jamais-09-12-2020-2404883_47.php
54. Les Echos. (2021, 28 juillet). « Europcar accepte l'offre de rachat du consortium mené par Volkswagen ». Les Echos Investir. Repéré à : <https://investir.lesechos.fr/actions/actualites/europcar-accepte-l-offre-de-rachat-du-consortium-mene-par-volkswagen-1973895.php>
55. Loukil, Ridha. (2021, 6 mai). « IBM crée la première puce au monde en gravure de 2 nanomètres ». L'usine nouvelle. Repéré à : <https://www.usinenouvelle.com/editorial/ibm-cree-la-premiere-puce-au-monde-en-gravure-de-2-nanometres.N1090849>
56. Louvet, B. (2020, 9 octobre). « La Russie présente « Amur », sa fusée réutilisable (et elle nous semble familière) ». Sciencepost. Repéré à : <https://sciencepost.fr/amur-russie-fusee-spacex/>
57. Lyons, K. (2021, 17 juillet). « Tesla Full Self Driving subscriptions are now available for \$199 a month ». The Verge. Repéré à : <https://www.theverge.com/2021/7/17/22581394/tesla-full-self-driving-subscription-available-199-month-elon-musk>
58. Ministère des armées. (2020, 21 décembre). « Communiqué_ Plan de relance : 201 millions d'euros pour la rénovation énergétique de bâtiments du ministère des Armées ». Responsable Presse. Repéré à : https://www.defense.gouv.fr/salle-de-presse/communiqués/communiqué_-plan-de-relance-201-millions-d-euros-pour-la-renovation-energetique-de-batiments-du-ministere-des-armees
59. Nadau, L. (2019, 29 novembre). « Souveraineté spatiale européenne : « L'horizon est dégagé pour les années à venir », estime Jean-Yves Le Gall ». Marianne. Repéré à : <https://www.marianne.net/societe/souverainete-spatiale-europeenne-l-horizon-est-degage-pour-les-annees-venir-estime-jean-yves>
60. ONU. (2021, 25 janvier). « La pandémie de Covid-19 a coûté 255 millions d'emplois en 2020 (OIT) ». ONU Info. Repéré à : <https://news.un.org/fr/story/2021/01/1087652>
61. Parisot, F. (2013, 9 janvier). « Ariespace monte en cadence et optimise ses coûts ». L'usine nouvelle. Repéré à : <https://www.usinenouvelle.com/article/arianespace-monte-en-cadence-et-optimise-ses-couts.N189203>
62. Piot, Aurélien. (2021, 18 juillet). « New Auto : le plan 2021-2030 du Groupe Volkswagen qui mise sur l'électrique et le logiciel ». Les Numériques. Repéré à : <https://www.lesnumeriques.com/voiture/new-auto-le-plan-2021-2030-du-groupe-volkswagen-qui-mise-sur-l-electrique-et-le-logiciel-n166243.html>

63. Poncet, Gueric. (2013, 25 juillet). « VIDÉO. Revivez le succès crucial d'Ariane 5 avec Alphasat ». Le Point. Repéré à : https://www.lepoint.fr/sciences-nature/a-kourou-l-a380-des-satellites-sur-le-pas-de-tir-25-07-2013-1708249_1924.php
64. S&A, AFP. (2019, janvier 7). « La Chine est la nation qui a envoyé le plus de fusées en 2018 ». Sciences et Avenir. Repéré à : https://www.sciencesetavenir.fr/espace/systeme-solaire/chine-rivalite-spatiale-avec-les-etats-unis_130640
65. Tanguy, Vincent. (2017, 5 septembre). « Poutine pense dominer le monde en maîtrisant l'intelligence artificielle ». Sciences et Avenir. Repéré à : https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/intelligence-artificielle/poutine-pense-dominer-le-monde-en-maitrisant-l-intelligence-artificielle_116062
66. Torregrossa, M. (2021, 9 septembre). « Tesla a un nouvel atout majeur pour étendre son réseau Superchargeurs ». Automobile Propre. Repéré à : <https://www.automobile-propre.com/breves/superchargeurs-tesla-a-un-nouvel-atout-majeur-pour-etendre-son-reseau/>

IV. WEBOGRAPHIE :

67. ASLOG. (2008, 20 novembre). « Réflexions sur une définition du Supply Chain Management ». Portail Logistique, Transport et Supply Chain. Consulté le 16 février 2021. Repéré à : <https://www.faq-logistique.com/ASLOG-Publications-Definition-Supply-Chain-Management.htm>
68. Carlier, M. (2019, 28 mars). « Aurora—Le supercalculateur d'Intel inaugurera l'ère exascale en 2021 ». Le blog des tendances. Consulté le 16 août. Repéré à : <https://www.leblogdestendances.fr/high-tech/aurora-supercalculateur-intel-23966>
69. Da Sois, J. (2018, 1 août). « Le « leasing » tire vers le haut le marché automobile ». La Croix. Consulté le 14 septembre 2021. Repéré à : <https://www.la-croix.com/Economie/Entreprises/Le-leasing-tire-vers-haut-marche-automobile-2018-08-01-1200959200>
70. Gédéon. (2014, 29 juillet). « ATV-5, première étape pour le dernier ATV : la fusée s'élève, Lemaître décolle ». Un autre regard sur la Terre. Consulté le 23 mars 2021. Repéré à : <http://un-regard-sur-la-terre.org/article-atv-5-premiere-etape-pour-le-dernier-atv-la-fusee-s-eleve-lemaitre-decolle-124258082.html>
71. Gédéon. (2019, 22 janvier). « Bilan de l'année spatiale 2018 : les satellites mis en orbite ». Un autre regard sur la Terre. Consulté le 20 mars 2021. Repéré à : <http://un-regard-sur-la-terre.org/2019/01/bilan-de-l-annee-spatiale-2018-les-satellites-mis-en-orbite.html>
72. Gédéon. (2021, 18 janvier). « L'année spatiale 2020 : le bilan des lancements orbitaux ». Un autre regard sur la Terre. Consulté le 21 mars 2021. Repéré à : <http://un-regard-sur-la-terre.org/2021/01/l-annee-spatiale-2020-le-bilan-des-lancements-orbitaux.html>
73. Howard. (2020, 20 octobre). « Quelle Est La Différence Entre Un Onduleur et Un ASI (Alimentation Sans Interruption)? ». Blog Community fs. Consulté le 25 juin 2021. Repéré à : <https://community.fs.com/fr/blog/whats-the-difference-between-inverter-and-ups.html>
74. Le Mag. (s.d.). « Le marché du leasing auto : Les chiffres clés, état des lieux ». Le Mag de l'Economie. Consulté le 14 septembre 2021, Repéré à : <https://www.lemagdeleconomie.com/dossier-80-marche-leasing-auto.html>
75. Marketing étudiant. (s.d.). « Tesla et sa stratégie marketing by Elon Musk ». Marketing étudiant. Consulté le 10 septembre 2021. Repéré à : <https://www.marketing-etudiant.fr/cours/t/strategie-marketing-de-lentreprise-tesla.php>
76. Peyraud, A. (2017, 29 septembre). « Comment SpaceX a réussi à révolutionner le transport spatial ». TransportShaker. Consulté le 24 Mars 2021. Repéré à : <https://www.transportshaker-wavestone.com/spacex-revolutionne-le-transport-spatial/>
77. Rouquet, A. (2019, 7 août). « Jomini, le « devin de Napoléon » qui inventa la logistique ». Mirmande PatrimoineS Blogue. Consulté le 16 mars 2021. Repéré à :

<https://mirmandepatrimoines.photo/2019/08/07/jomini-le-devin-de-napoleon-qui-inventa-la-logistique/>

V. CONFÉRENCES :

78. Conférence « *L'espace, un outil indispensable de coopération entre les pays* », organisé par la Cité de l'Espace, à Toulouse, le 7 Avril 2021.
79. Conférence « *La Cybersécurité : Enjeux de Défense et de Sécurité* », organisé par la Faculté de Droit et Science Politique de l'Université Côte d'Azur, à Nice, le 8 Avril 2021.
80. Conférence « *Économie circulaire et réglementation* », organisé par Materialia, dans le Grand Est, le 9 Avril 2021.
81. Conférence « *La 5G au service de votre startup avec Niosense* », organisé par le Collision Lab du Centech, à Montréal, le 15 Avril 2021.
82. Conférence « *Responsable et Rentable* », organisé par la Toulouse Business School, à Toulouse, le 13 Avril 2021.
83. Conférence « *Focus sur le nouveau CCAG Travaux* », organisé par le CFC Formations, le 30 Avril 2021.
84. Entretien « *Entre innovations contractuelles et techniques, le patron de Colas détaille les leviers d'une relance verte et ambitieuse des infrastructures* », réalisé par Le Moniteur, journal professionnel des travaux publics et du bâtiment, Consulté le 10 Mai 2021

ANNEXE 2 : ORIGINE DU SUJET ET POSITIONNEMENT

Cette annexe est présente ici comme signe de témoignage pour montrer les réflexions qui m'ont amené progressivement vers mon sujet final et mes objectifs de démonstration. À cette époque, je ne connaissais encore que très peu la prestation du Soutien Logistique Intégré. J'ai donc une émotion assez particulière quand je relis ces lignes, puisque je me rends compte du chemin parcouru depuis un peu plus d'un an maintenant. (Julien Deroubaix, Septembre 2021)

Afin d'expliquer le choix de mon sujet, je souhaite faire une rétrospective de ce qui m'y a progressivement amené, car depuis mon entrée dans le parcours TLTE, je me suis retrouvé confronté à des concepts, des problématiques, des réalités que je ne soupçonnais pas jusqu'alors. Tout au long de mon parcours, j'ai pu prendre du recul et réfléchir sur les problèmes, autant professionnels que personnels auxquels j'ai pu faire face. Ainsi, cette période a été réellement structurante dans l'élaboration de mon sujet et se doit d'être retranscrite pour pouvoir comprendre ce que je tenterai de démontrer au travers de mes enquêtes lors de ces prochains mois.

I. Origines du Sujet

A. Un problème initial de gestion de stock

Les origines du sujet de recherche remontent à l'été 2019. Je travaillais alors chez INTELEC, une société spécialisée dans le BTP électrique. C'est une petite entreprise française de moins de 50 salariés avoisinant les 10 Millions d'euros de chiffre d'affaires annuels. Durant ce contrat de travail, la société s'est retrouvée face à un problème capacitaire de son entrepôt. En effet, il n'est pas rare que des surplus de matériels de divers chantiers alors terminés y soient stockés. La logique voudrait alors que ce surplus de matériels soit réemployé sur d'autres futurs chantiers. Mais entre la multitude de types de matériels disponibles (Certains fabricants dépassant les dizaines de milliers de références de matériels différents) et les besoins/demandes divergents des clients, il est très fréquent qu'un matériel mette des années à être réemployé au sein de la même entreprise. Il faut ajouter à cela qu'une petite structure n'a pas forcément les moyens ou n'a pas d'intérêt économique (manque de volume) à déployer une réelle activité logistique de gestion des stocks, et en particulier la gestion des retours. Elle est donc dans le meilleur des cas externalisée. Dans le cas d'INTELEC, la résolution du problème capacitaire a été le bennage des matériels considérés comme parasitant et inutiles, donc soit à faible valeur, soit difficilement réemployables. Cet événement n'est pas un cas isolé, selon les estimations de Schneider Electric, « le gaspillage dans le secteur du BTP représente l'équivalent de 1,5 milliards d'euros de matériaux neufs qui sont jetés chaque année par les artisans, dont 390 millions d'euros chez les électriciens. »^A. Si l'on rapporte ce chiffre à une petite PME, c'est l'équivalent de 3750 euros/an de marge qui dort et qui finit par être jeté. Or, en moyenne, selon les professionnels du secteur, la rentabilité des entreprises du BTP s'établit à 2%. En 2018, année de forte dégradation des marges du secteur, elles s'établissaient à 1,2% selon Le Moniteur^B.

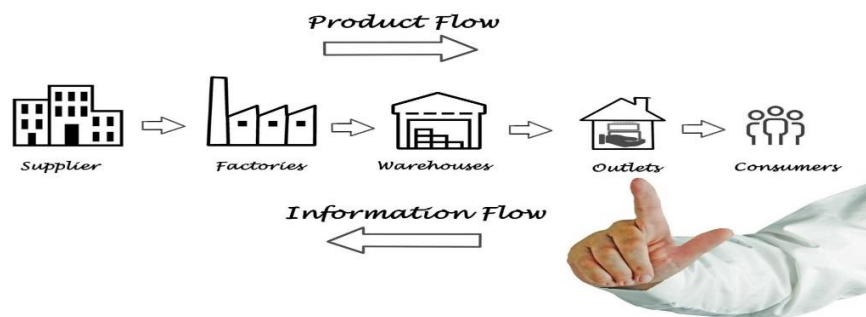
[A] Voltimum. (2020). Schneider Electric s'associe à l'appli StockPro. Consulté le 29 Janvier 2021. Repéré à <https://www.voltimum.fr/news/schneider-electric-sassocie-lappli-stockpro>

[B] Le Moniteur. (2019). Les marges des entreprises du bâtiment sont sous pression, selon la FFB. Consulté le 29 Janvier 2021. Repéré à <https://www.lemoniteur.fr/article/les-marges-des-entreprises-du-batiment-sous-pression-selon-la-ffb.2028040>

B. La prise de conscience de la situation de linéarité à sens unique des circuits de distribution

Vivant intérieurement la situation comme un gâchis de ressources et d'argent, il n'en restait pas moins que la société aurait effectivement gaspillé bien plus d'argent en passant du temps à la logistique du réemploi des matériels qu'en se consacrant aux activités de son cœur de métier. Pourtant, une solution simple était envisageable, celle de faire reprendre les matériels non utilisés par les fournisseurs, pour qu'ils puissent les redistribuer à d'autres entreprises du secteur. Mais la réflexion de cette possibilité s'est vite retrouvée confrontée à la réalité linéaire à sens unique des circuits de distribution. En effet, aujourd'hui avec la mondialisation, les réseaux de distribution de biens se sont constitués en de véritables Supply Chain mondiales concurrentielles faisant le lien entre les processus productifs, où qu'ils soient, et les clients finaux, où qu'ils soient là aussi. L'enjeu principal du Supply Chain Management consiste ainsi en la gestion de flux, des flux physiques d'amont en aval, des flux d'informations et des flux financiers et administratifs. Le défi étant de rendre accessibles les produits au bon moment, au bon endroit et au meilleur prix.

FIGURÉ 1 : LE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT



Source : Amalo Recrutement, (2019)

Ce petit rappel de ce qu'est le Supply Chain Management montre bien qu'il n'est pas question pour les flux physiques d'aller d'aval en amont. D'ailleurs, la traduction française de Supply Chain est littéralement Chaîne d'approvisionnement, on apporte quelque chose, on ne reprend rien. Ainsi, dans le cas concret d'INTELEC, il faut bien comprendre que le distributeur n'a aucun intérêt à reprendre les matériels, si ce n'est pour faire un geste commercial, il proposera alors souvent un remboursement sous forme de bon d'achat. Mais dans l'idée, les retours de marchandises (ou à proprement parler, la Reverse Logistics) représentent des surcoûts, diminuant ses profits, qu'il cherche à tout prix à éliminer. Selon une étude du CapGemini Research institute, « la livraison du dernier kilomètre représente en moyenne 41% du coût total de la Supply Chain dans le cas d'une livraison à domicile »^A. Ainsi, la rentabilité financière du distributeur peut rapidement être compromise si les flux retours se multiplient et n'ont pas été préalablement anticipés dans les tarifs de livraison. Il est donc doublement plus intéressant pour le distributeur que le client assume les pertes d'éventuels surplus de commandes : son chiffre d'affaires est gonflé, ses pertes minimisées. C'est avec ce raisonnement que pendant longtemps, que ce soit chez les professionnels de la distribution ou chez les théoriciens de la SCM, la logistique inverse a été vue comme la logistique allant dans la « mauvaise direction ». Pour preuve, l'ouvrage de Rémy Le Moigne sur le Supply Chain Management^B à destination des entreprises, qui dans sa première édition de 2013 omet l'existence même de la Reverse Logistics. Ce n'est que dans la 2^{ème} édition de 2017^C qu'un chapitre est rajouté sur le sujet.

[A] CapGemini Research Institute, « The last-mile delivery challenge » [archive], sur www.capgemini.com, 2019, Consulté le 4 Février 2021

[B] Le Moigne, R. (2013). *Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente* (1ère éd.), Dunod

[C] Le Moigne, R. (2017). *Supply chain management : Achat, production, logistique, transport, vente* (2ème éd.), Dunod

C. Les conséquences mondiales d'une Supply Chain qui se déresponsabilise de la fin de vie des produits : La faute au modèle d'acquisition ? (1^{er} Postulat)

Fort de ce constat, où des produits finis neufs se sont retrouvés en l'espace d'un instant et d'une décision, transformés en déchets sans aucune valeur. Il m'a paru intéressant de raisonner à plus grande échelle. Que ce soit les professionnels ou les particuliers, de nos jours, chacun acquiert des objets, des produits, des matériels pour satisfaire ses besoins. Ce modèle d'acquisition se traduit ainsi par une responsabilité de la possession qui se transmet jusqu'au client final, qui lui décidera de la fin de vie du produit. Or d'après une étude de Jérémie Pichon et Bénédicte Moret, « 99 % des ressources prélevées dans la nature sont reléguées au rang de déchet en moins de 42 jours »^A. Si ce chiffre est difficilement vérifiable, l'idée générale véhiculée est réelle : Le déchet constitue une norme dans la gestion de fin de vie des produits. Ce ne sont donc pas seulement les retours des invendus ou des produits défectueux qui sont concernés, mais bien l'ensemble des produits que nous fabriquons.

FIGURÉ 2 : SCHÉMA DU CYCLE DE VIE DU CARTON



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

En développant cette idée, on peut donc se dire que la production des sociétés humaines est cyclique. C'est-à-dire que si l'on remontait à il y a 42 jours en arrière, en moyenne, 99% de ce que l'on avait produit ce jour-là a donc été jeté. Pourtant, les sociétés humaines ont toujours besoin de cartons, c'est même une demande qui se fait croissante depuis une dizaine d'années. Il faut donc continuellement reproduire ces biens. Nous avons certes, atteint des indices de productivité historiques, mais cette production est répétitive. Nous reproduisons encore et encore les mêmes biens, telle une centrifugeuse infinie. Sauf qu'elle a des pertes, les déchets. Mais que faisons-nous de tous ces déchets ? Et qui en est responsable ?

Ce flou de responsabilité dans la fin de vie des produits constitue en fait le problème central de la gestion des déchets au XXI^{ème} siècle, avec toutes les conséquences environnementales que l'on connaît aujourd'hui. Il semble bien que l'on ait accusé d'abord le consommateur irresponsable de tous les maux de la société, mais quels choix a-t-il vraiment à sa disposition ? Le terme « Consomm'acteurs », dont l'origine prend source à l'invention du boycott contre Charles Cunningham Boycott en 1879, est aujourd'hui assez populaire et tente de responsabiliser le consommateur en tant que citoyen usant de ses achats comme d'un vote à une élection. Mais il se révèle bien souvent déconnecté des réalités sociales et économiques des plus petites bourses qui ne peuvent pas tout le temps « voter plus cher » dans leurs achats. Ainsi, qui est responsable, le forgeron ou celui qui manie l'arme ? On pourrait en revenir à ce vieux débat philosophique et accuser à leur tour, les entreprises, les producteurs. En effet, si les produits fabriqués sont très rapidement jetés, c'est aussi et avant tout parce

[A] Pichon, J. Moret, B. (2016). *Famille Presque Zéro Déchet : ze guide*, Éd. Thierry Souccar (ISBN 978-2-36549-187-7), p. 25

qu'ils ont été pensés, conçus, voulus comme tels. S'il y a autant de déchets plastiques dans le monde, c'est bien avant tout parce que la norme des processus de production est à l'emballage plastique jetable. Mais de quels moyens disposent les entreprises pour lutter réellement contre cela ? Elles existent parce qu'elles produisent de la valeur et génèrent des profits, c'est leur but premier afin de garantir leur survie. Elles ne sont pas rémunérées avec de la morale ou de la bonne conscience. Quoique, la popularité croissante des démarches RSE des entreprises pose question. Elles répondent à des objectifs sociétaux et environnementaux, mais leur finalité n'est-elle pas la création de valeur « morale » et une stratégie de différenciation permettant de répondre au nouveau besoin de bonne conscience environnementale du consommateur. Car au final, un produit responsable, ça se paye et ça génère des profits. Ainsi, si la demande est à l'achat du toujours moins cher, il paraît improbable de vouloir faire de la haute-qualité ou de l'éco-responsable. De même, produire des biens qui durent longtemps devient un non-sens, car si on inhibe le besoin, on ne vend plus. L'exemple des Crocs qui, de par leur solidité et leur durabilité remarquable, ont bien failli provoquer la faillite de l'entreprise, en est édifiant^A.

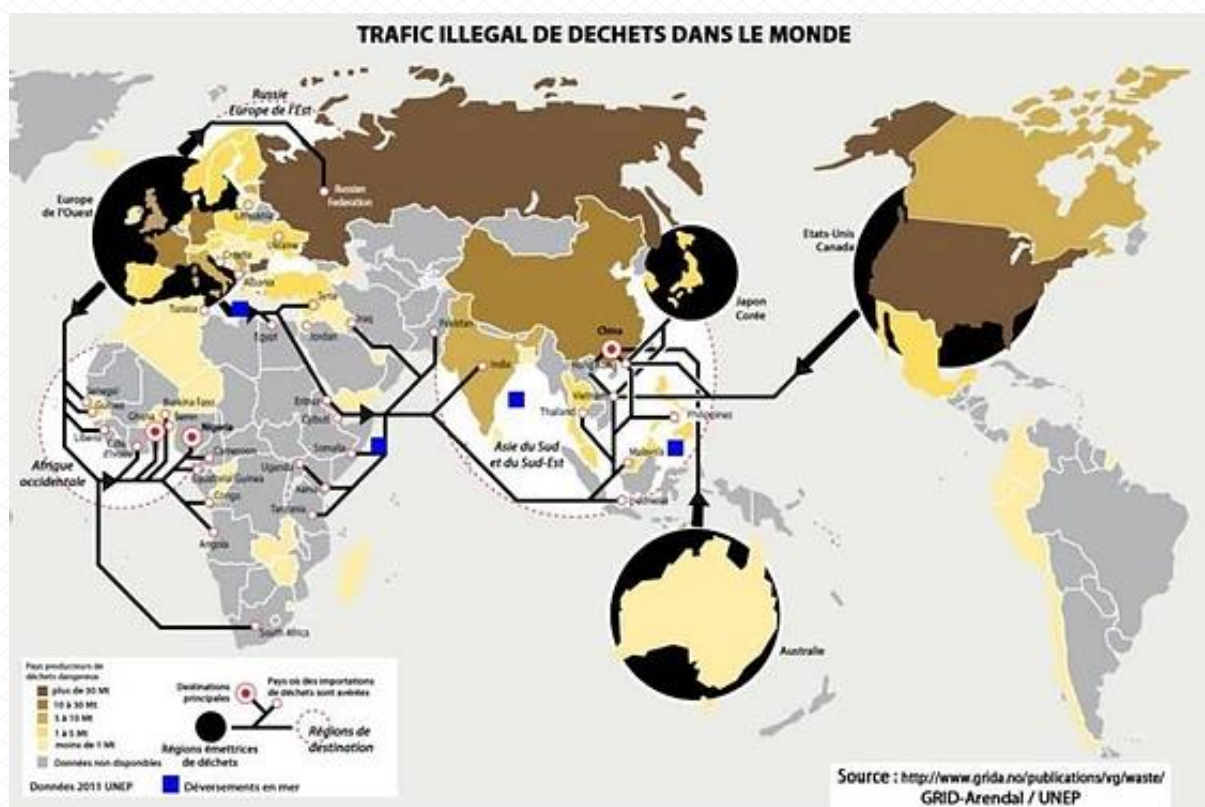
Ainsi, si aucun de ces deux acteurs ne peut agir, il faut peut-être aller convoquer le politique à la barre des accusés. En effet, quand un crime est commis, c'est aux autorités compétentes de sanctionner et de légiférer pour faire appliquer des règles communes à chacun, empêchant le « vice propre du toujours moins cher » de devenir une norme concurrentielle obligée. Mais là encore, la faune et la flore ne disposent pas d'un bulletin de vote et il semble bien qu'au regard des différentes élections politiques de ces dernières décennies, les préoccupations économiques et sociales des électeurs et des lobbys surpassent pour le moment les préoccupations environnementales.

Cette situation, où aucun des trois acteurs qui composent la société ne peut agir, nous amène au constat final : Il faut faire avec les déchets, et cela, au frais du contribuable et des entreprises. Il faut les collecter, les stocker, les trier, les retraiter. En effet, stocker à l'infini les déchets serait une tâche impossible au vu des volumes générés aujourd'hui, plus de 326 millions de tonnes de déchets produits en France en 2017 selon l'ADEME^B. Les collectivités publiques s'organisent donc en conséquence pour tenter de réduire leur volume en revalorisant certains déchets, en leur redonnant une utilité, soit en tant que matériau, soit en tant que produit de qualité égale ou supérieure. Ils récupèrent ainsi de la valeur. De même, l'emploi du recyclage permet de réduire les déchets finaux, tout en diminuant le besoin d'extraction de ressources naturelles. Néanmoins, au bout du bout, plus de 28% des déchets restent soit non retraitable, soit peu avantageux économiquement à retraiter, et il faut alors parfois incinérer, voir user de moyens de déstockage plus vicieux. C'est ainsi qu'un véritable business mondial d'exportation des déchets s'est créé en quelques décennies.

[A] RTBF. (2009). *Les Crocs victimes de leur succès, au bord de la faillite*. Consulté le 01 Février 2021. Repéré à https://www.rtbf.be/info/societe/detail_les-crocs-victimes-de-leur-succes-au-bord-de-la-faillite?id=5384453

[B] ADEME. (2020). *Déchets Chiffres-clés*. Consulté le 02 Février 2021. Repéré à <https://www.ademe.fr/dechets-chiffres-clés>

CARTE 1 : LE TRAFIC ILLÉGAL DE DÉCHETS DANS LE MONDE



Source : Cerdijournal, (2018)

Ces exportations des pays développés vers les pays en développement se font bien souvent dans l'illégalité ou dans une légalité déguisée en donation. À l'intérieur même des pays développés, ce sont des réseaux criminels qui s'organisent, agissant en tant que sous-traitant pour le retraitement des déchets des entreprises. En Italie par exemple, c'est la mafia italienne qui s'est reconvertie dans ce nouveau business^A. Du côté des pays en développement, la faiblesse des institutions ne leur permet pas de se protéger de ce trafic, et pour les plus pauvres d'entre eux, cela reste au final une activité de tri et de retraitement qui génère de l'activité et de la richesse malgré tout, la main d'œuvre étant bien moins chère, mais c'est au détriment de leur environnement et des populations locales. La Chine était jusqu'en 2018, un grand pays importateur de déchets plastiques notamment. En effet, étant déjà l'usine du monde, le retraitement des déchets plastiques lui permettait de se générer des matières premières recyclées pour son appareil productif. Mais en 2018, elle a décidé d'arrêter d'être la décharge du monde, provoquant ainsi une crise mondiale du déchet^B. En cause de cette décision, le mauvais tri des déchets plastiques des pays occidentaux qui ne permettent pas d'exploiter de manière rentable cette activité. Il y a là derrière un autre problème majeur au recyclage des déchets : La multiplication des matières utilisées dans un même produit lors de la conception qui rend difficiles la séparation et leur retraitement. (2^{ème} Postulat ici : La phase de conception est le point d'ancrage qui permet de prendre en compte une meilleure logistique de retraitement des produits en fin de vie)

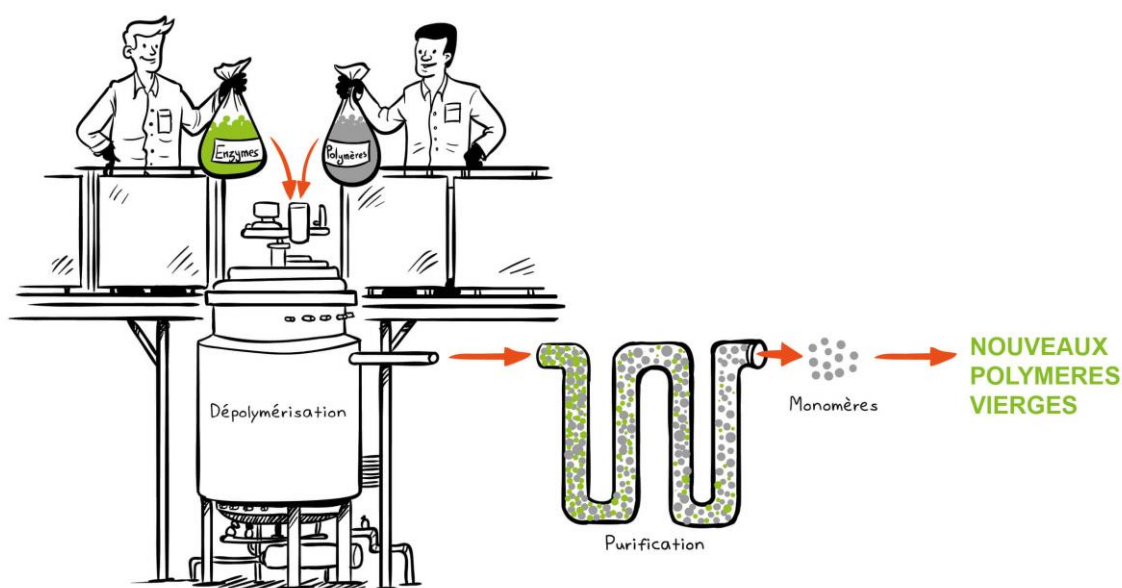
[A] *Courrier International*. (2021). En Italie, le grand business de l'exportation de déchets. Consulté le 27 Janvier 2021.

[B] *France24*. (2019). On vous explique pourquoi le recyclage du plastique est en train de créer une crise mondiale des déchets. Consulté le 15 Octobre 2020. Repéré à https://www.france24.com/fr/sante/environnement-et-sante/on-vous-explique-pourquoi-le-recyclage-du-plastique-est-en-train-de-creer-une-crise-mondiale-des-dechets_3465921.html

D. Les limites du modèle de développement durable basé sur le recyclage

Suite à cette analyse de la situation mondiale concernant la gestion de la fin de vie des produits, où nul ne peut agir, hormis par choix délibéré, que ce soit pour un gain de bonne conscience environnementale, un gain d'image de marque ou un gain électoral. Il faut alors se pencher sur le cas du recyclage, car si dans les discours qui fleurissent un peu partout dans le monde, il constitue l'élément clé vers une transition écologique durable, dans la réalité, c'est un peu moins évident. Le cas du plastique en est un exemple symbolique. Depuis quelques années, de grandes avancées technologiques sont apparues en matière de recyclage du plastique. En 2018, l'association Earthwake annonce « avoir inventé une machine compacte et robuste capable de transformer les déchets plastiques en gazole et essence. Un projet qui rendrait de la valeur aux plastiques usagés, et pourrait créer de nombreux emplois. »^A. Une production de 50 litres de carburant avec 50 kilos de plastiques. En 2020, « l'entreprise clermontoise Carbios a mis au point une technologie révolutionnaire qui permet de recycler l'un des plastiques les plus utilisés dans le monde (le PET) à l'infini, aussi facilement qu'on le fait avec le verre. »^B. 100% de la matière est récupérée.

FIGURÉ 3 : PRINCIPE DU BIORECYCLAGE ENZYMATIQUE CARBIOS



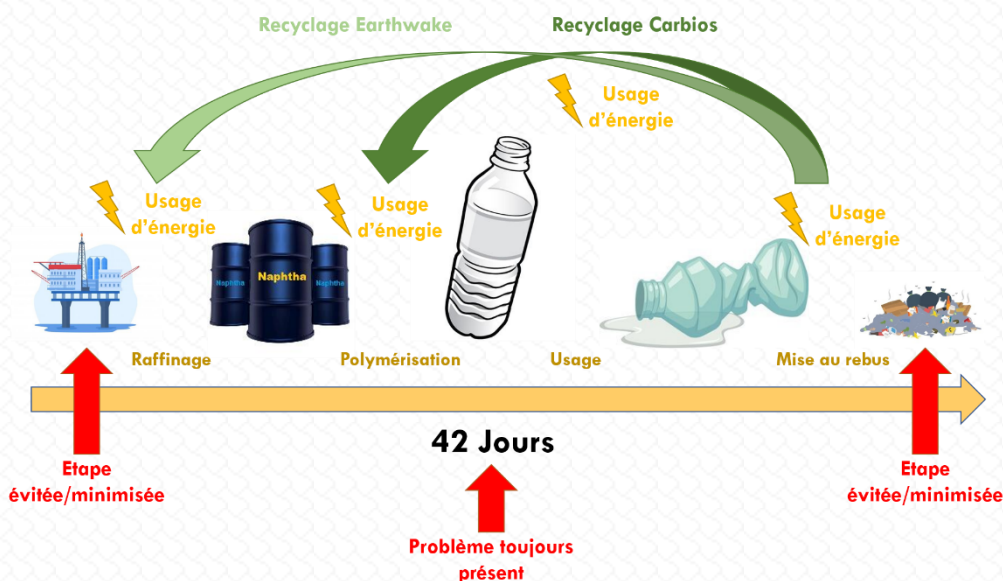
Source : Carbios. (2020). Biorecyclage. Consulté le 20 Janvier 2021. Repéré à <https://carbios.fr/technologies/le-biorecyclage/>

Si ces avancées en matière de recyclage promettent un changement significatif dans la lutte contre les déchets plastiques, il faut reprendre et adapter le schéma du cycle de vie du carton pour en saisir les aboutissements potentiels.

[A] Science et Avenir. (2018). Transformerons-nous bientôt nos déchets plastiques en carburant ?. Consulté le 20 Janvier 2021. Repéré à https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/developpement-durable/un-dispositif-pour-transformer-le-plastique-en-carburant_130347

[B] BFM. (2020). La découverte d'une start-up française va enfin permettre de recycler le plastique à l'infini. Consulté le 20 Janvier 2021. Repéré à https://www.bfmtv.com/economie/consommation/la-decouverte-d-une-start-up-francaise-va-enfin-permettre-de-recycler-le-plastique-a-l-infini_AN-202004110148.html

FIGURÉ 4 : SCHÉMA DU CYCLE DE VIE DU PLASTIQUE



Source : Conception et réalisation de Julien Deroubaix

Ce schéma représente le processus de production des bouteilles plastiques jusqu'à leur mise au rebut. Il reprend finalement le même principe que le schéma précédemment étudié sur les cartons, à ceci près qu'y sont implémentés les 2 processus de recyclage Earthwake et Carbios. Comme on peut le voir, le recyclage des bouteilles plastiques a en effet des avantages indéniables : moins d'extraction de ressources naturelles et une minimisation du volume des déchets finaux. Ainsi, plus on recycle, moins on impacte l'environnement, que ce soit en amont ou en aval du processus.

Néanmoins, cela en fait-il un processus vertueux pour autant ? Car on le voit bien, le problème des 42 jours est toujours présent, il n'est pas réglé par la mise en place d'un recyclage. Au contraire, il pourrait même l'empirer, car sous couvert que les bouteilles plastiques soient recyclables, les consommateurs/entreprises auraient d'autant moins de cas de conscience de s'en débarrasser. Ainsi, on pourrait bien avoir une centrifugeuse qui s'accélère d'autant plus !

De plus, si comparativement au processus d'extraction, le processus de recyclage semble, de manière générale, user moins d'énergie, il n'en reste pas moins une étape **cumulative** et **énergivore**. Prenons le cas du recyclage de Carbios qui use de l'énergie pour recycler une bouteille de plastique à usage unique. Entre une bouteille en verre utilisée pendant 1 an, **produite 1 fois** et une bouteille en plastique utilisée pendant 1 an, mais **recyclée 8 fois** (365/42), quelle est celle qui a nécessité le plus d'énergie ? La question se pose. Le cas du recyclage d'Earthwake est encore plus paradoxal puisqu'il peut se cumuler au précédent recyclage. En effet, on pourra recycler une bouteille déjà recyclée **8 ... 42 ... 124 fois** et ainsi **user de l'énergie pour refaire de l'énergie**, du carburant. En fin de compte, la facture énergétique explose pour un même produit.

Nous pouvons donc faire le constat que le recyclage ne se suffit pas à lui-même pour permettre une transition économique vers un modèle de développement durable. D'autant plus qu'il est actuellement basé sur le fait que les consommateurs/entreprises assument et **prennent la responsabilité de la perte de valeur de leurs déchets**. Or, dans le modèle du recyclage, les consommateurs/entreprises deviennent des distributeurs et comme nous l'avons vu auparavant, le distributeur cherche à réduire ses pertes. Le succès grandissant du marché de l'occasion en est une preuve, plus de 50 milliards d'euros de chiffre d'affaires mondial estimé d'ici 2023^A, les produits ne se jettent pas forcément, ils peuvent se vendre. La perte de valeur du recyclât pourrait

[A] Boursorama. (2020). Le boom du marché de l'occasion. Consulté le 4 février. Repéré à <https://www.boursorama.com/patrimoine/actualites/le-boom-du-marche-de-l-occasion-885578b1a4011f2b81147b2061220d6b>

donc être remise en question et déjà, des initiatives rémunérant le recyclage apparaissent, comme à Monoprix où des Recycleurs de bouteille plastique ont été installés, offrant en contrepartie des bons d'achats.

PHOTO 9 : RECYCLEUR DE BOUTEILLE MONOPRIX



Source : Photo prise par Julien Deroubaix le 20 Septembre 2020

C'est ainsi donc par ce tumultueux parcours et cette longue réflexion, que j'en suis venu au sujet de mon mémoire qui a pour problématique centrale la question de l'usage et la nécessité d'allonger la durée de vie des produits que nous fabriquons pour réellement réussir une transition économique vers un développement durable. C'est pourquoi je souhaite traiter le Soutien Logistique Intégré, que j'ai découvert au cours d'un appel d'offres de travaux publics à destination des sites de la navigation aérienne. Car en effet, c'est un outil mis en place lors de la conception des produits, qui a pour objectif de faire durer le plus longtemps possible un système en état opérationnel tout en maîtrisant les coûts, et cela, sur l'ensemble du cycle de vie du produit.

(Mon 3^{ème} et dernier postulat ici, est que l'usage est l'enjeu central de la transition économique vers un modèle de développement durable, et qu'il faut en allonger le plus possible la durée pour réduire notre impact sur l'environnement).

II. Problématiques Intermédiaires

Pourquoi le Soutien Logistique Intégré est-il aujourd'hui considéré comme une prestation luxueuse du Supply Chain Management ?

Quels en sont les facteurs bloquants parmi les enjeux actuels du Supply Chain Management ?

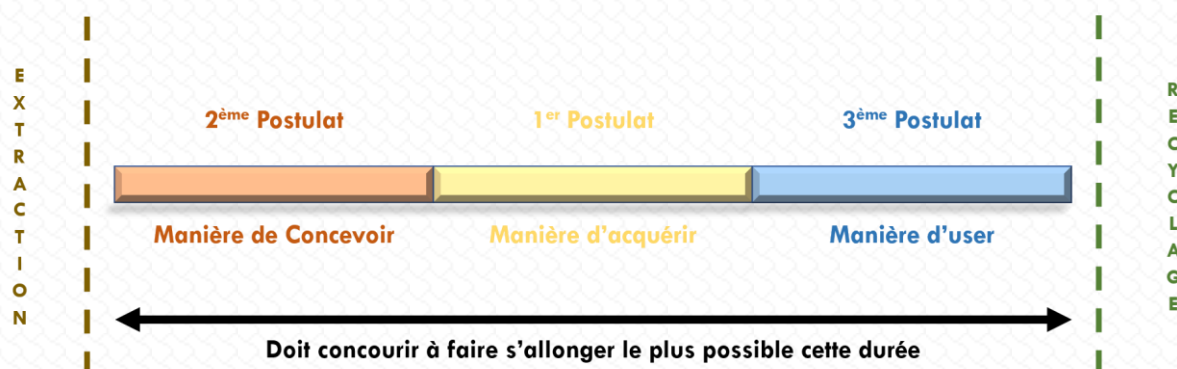
Comment la Supply Chain peut-elle devenir plus responsable ?

III. Hypothèses de recherche

Ce mémoire cherche donc à étudier le Soutien logistique Intégré, son approche théorique, sa réalité pratique, ses contraintes, ses avantages, ses potentialités. Ayant l'intuition que dans le cadre d'une transition vers un modèle de développement durable, le SLI peut déployer tout son potentiel, je chercherai au travers de mes enquêtes de terrain les leviers de son déploiement.

Les premières hypothèses se résument en 3 postulats qui expriment à l'heure actuelle des facteurs bloquants au Soutien Logistique Intégré.

Figuré 5 : Schéma de pensée



Source : Conception et réalisation par Julien Deroubaix

Mes hypothèses sur ces leviers de déploiement du Soutien Logistique Intégré portent sur de nouvelles façons d'acquérir (la location d'un bien ou d'un service plutôt que son achat : externalisation de la possession), de nouvelles méthodes de conception (Apogée du SLI pour limiter les gâchis sur le cycle de vie du produit, à la manière du Lean Six Sigma en son temps), de nouvelles manières d'user les biens (L'utilisateur mieux formé/mieux assisté par la documentation, les technologies, une logistique de soutien performante, ou au contraire un usager remplacé par la technologie, les intelligences artificielles et autonomes : Externalisation de la responsabilité de la maîtrise du bien). Ces trois composantes aboutiront à ce que la responsabilité du produit ne soit plus détenue par l'utilisateur, mais par le producteur ou par un intermédiaire qui gèrera la maintenance des actifs, tandis que l'utilisateur louera des prestations, des usages.

Il s'agira ainsi de montrer que la Supply Chain est d'autant plus responsable que lorsque son profit dépend de la durée de vie des biens qu'elle gère. Il lui faudrait ainsi maximiser la durée de disponibilité des biens tout en minimisant les coûts de leur maintenance, des enjeux qui conviennent bien au Soutien Logistique Intégré.

ANNEXE 3 : TÂCHES DE L'ASL^A : MIL- STD-1388-1A

PRE-PUBLICATION COPY

MIL-STD-1388-1A
11 APRIL 1983
NOTICE 1
9 FEBRUARY 1988
NOTICE 2
5 JUNE 90
NOTICE 3
28 MARCH 91
NOTICE 4
21 JANUARY 93

SUPERSEDING
MIL-STD-1388-1
15 OCTOBER 1973
MIL-STD-1561
17 NOV 84

MILITARY STANDARD

LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS



AMSC NO. A3202

FSC ILSS

[A] Analyse du Soutien Logistique

IL-STD-1388-1A

TABLE I. Index of Logistic Support Analysis Tasks.

TASK SECTION	PURPOSE OF TASK SECTION	TASK/SUBTASK	INFLUENCE *		
			STRUC- TURE DESIGN	SUPPLY SYS- TEM DESIGN	LOGISTICS OPERATION FUNCTION
100 - PROGRAM PLANNING & CONTROL	TO PROVIDE FOR FORMAL PROGRAM PLANNING AND REVIEW ACTIONS	101 - DEVELOPMENT OF AN EARLY LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS STRATEGY 101.2.2 COST ESTIMATE 101.2.3 UPDATES			PRIMARY PURPOSE OF 100 SERIES TASKS IS THE MANAGEMENT AND CONTROL OF THE LSA PROGRAM
		102 - LOGISTIC SUPPORT ANALYSIS PLAN 102.2.1 LSA PLAN 102.2.2 UPDATES			
		103 - PROGRAM AND DESIGN REVIEWS 103.2.1 ESTABLISH REVIEW PROCEDURES 103.2.2 DESIGN REVIEWS 103.2.3 PROGRAM REVIEWS 103.2.4 LSA REVIEW 103.2.5 LSA GUIDANCE CONFERENCES			
200 - MISSION & SUPPORT SYSTEMS DEFINITION	TO ESTABLISH SUPPORTABILITY OBJECTIVES AND SUPPORTABILITY DESIGN GOALS, THRESHOLDS, AND CONSTRAINTS THROUGH COMPARISON WITH EXISTING SYSTEMS AND ANALYSES OF SUPPORTABILITY, COST, AND READINESS DRIVERS	201 - USE STUDY 201.1 SUPPORTABILITY FACTORS 201.2 QUANTITATIVE FACTORS 201.2.3 FIELD VISITS 201.2.4 USE STUDY REPORT AND UPDATES	X X X X	X X X X	
		202 - MISSION HARDWARE, SOFTWARE, AND SUPPORT SYSTEM STANDARDIZATION 202.2.1 SUPPORTABILITY CONSTRAINTS 202.2.2 SUPPORTABILITY CHARACTERISTICS 202.2.3 RECOMMENDED APPROACHES 202.2.4 RISKS	X X X X	X X X X	X X

* X INDICATES THAT THE SUBTASK IS ORIENTED TOWARD INFLUENCING THE INDICATED FACTOR(S)

TABLE I. Index of Logistic Support Analysis Tasks. - Continued

L-STD-1388-1A

TASK SECTION	PURPOSE OF TASK SECTION	TASK/SUBTASK	INFLUENCE	
			SYSTEM DESIGN	SUPPORT SYS DESIGN
		203 - COMPARATIVE ANALYSIS 203.2.1 IDENTIFY COMPARATIVE SYSTEMS 203.2.2 BASELINE COMPARISON SYSTEM 203.2.3 COMPARATIVE SYSTEM CHARACTERISTICS 203.2.4 QUALITATIVE SUPPORTABILITY PROBLEMS 203.2.5 SUPPORTABILITY, COST, AND READINESS DRIVERS 203.2.6 UPDATE SYSTEM DRIVERS 203.2.7 UPDATE 203.2.8 RISKS AND ASSUMPTIONS	X X X X X X X X	X X X X X X X X
		204 - TECHNOLOGICAL OPPORTUNITIES 204.2.1 RECOMMENDED DESIGN OBJECTIVES 204.2.2 UPDATES 204.2.3 RISKS	X X X	X X X
		205 - SUPPORTABILITY AND SUPPORTABILITY RELATED DESIGN FACTORS 205.2.1 SUPPORTABILITY CHARACTERISTICS 205.2.2 SENSITIVITY ANALYSIS 205.2.3 IDENTIFY PROPRIETARY DATA 205.2.4 SUPPORTABILITY OBJECTIVES & ASSOCIATED RISKS 205.2.5 SPECIFICATION REQUIREMENTS 205.2.6 NATO CONSTRAINTS 205.2.7 SUPPORTABILITY GOALS AND THRESHOLDS	X X X X X X X	X X X X X X X

MIL-STD-1388-1A

TABLE 1. Index of Logistic Support Analysis Tasks. - Continued

TASK SECTION	PURPOSE OF TASK SECTION	TASK/SUBTASK	INFLUENCE				
			SYS.EQUIP DESIGN	SUPPLY SYS DESIGN	LOGISTICS DESIGN	OPERATION	
300 - PREPARATION AND EVALUATION OF ALTERNATIVES	TO OPTIMIZE THE SUPPORT SYSTEM FOR THE NEW ITEM AND TO DEVELOP A SYSTEM WHICH ACHIEVES THE BEST BALANCE BETWEEN COST, SCHEDULE, PERFORMANCE, AND SUPPORTABILITY	301 - FUNCTIONAL REQUIREMENTS		X			
		301.2.1 FUNCTIONAL REQUIREMENTS		X			
		301.2.2 UNIQUE FUNCTIONAL REQUIREMENTS		X			
		301.2.3 RISKS		X			
		301.2.4 OPERATIONS AND MAINTENANCE TASKS		X		X	
		301.2.5 DESIGN ALTERNATIVES		X		X	
		301.2.6 UPDATES	X				
		302 - SUPPORT SYSTEM ALTERNATIVES		X	X		
		302.2.1 ALTERNATIVE SUPPORT CONCEPTS		X	X		
		302.2.2 SUPPORT CONCEPT UPDATES		X	X		
		302.2.3 ALTERNATIVE SUPPORT PLANS		X	X		
		302.2.4 SUPPORT PLAN UPDATES		X	X		
		302.2.5 RISKS		X	X		
303 - EVALUATION OF ALTERNATIVES AND TRADEOFF ANALYSIS			X		X		
303.2.1 TRADEOFF CRITERIA			X		X		
303.2.2 SUPPORT SYSTEM TRADEOFFS			X		X		
303.2.3 SYSTEM TRADEOFFS			X		X		
303.2.4 READINESS SENSITIVITIES			X		X		
303.2.5 MANPOWER AND PERSONNEL TRADEOFFS			X		X		
303.2.6 TRAINING TRADEOFFS			X		X		
303.2.7 LEVEL OF RISK ANALYSIS			X		X		
303.2.8 COMPARATIVE EVALUATIONS			X		X		
303.2.9 EMERGENCY TRADEOFFS			X		X		
303.2.10 SURVIVABILITY TRADEOFFS			X		X		
303.2.11 TRANSPORTABILITY TRADEOFFS			X		X		
303.2.12 SUPPORT FACILITY TRADEOFFS			X		X		
303.2.13			X		X		

TABLE I. Index of Logistic Support Analysis Tasks - Continued

MIL-STD-1388-1A

TASK SECTION	PURPOSE OF TASK SECTION	TASK/SUBTASK	INFLUENCE *		
			Spec Group Design	Support Sys Design	Low/High Inter- mittent
400 - DETERMINATION OF LOGISTIC SUPPORT RESOURCE REQUIREMENTS	TO IDENTIFY THE LOGISTIC SUPPORT RESOURCE REQUIREMENTS OF THE NEW SYSTEM IN ITS OPERATIONAL ENVIRONMENT(S) AND TO DEVELOP PLANS FOR POST PRODUCTION SUPPORT	401 - TASK ANALYSIS			X
		401.21 TASK ANALYSIS			X
		401.22 ANALYSIS DOCUMENTATION			X
		401.23 NEW/CRITICAL SUPPORT RESOURCES			X
		401.24 RESOURCE REQUIREMENTS AND RECOMMENDATIONS			X
		401.25 DESIGN IMPROVEMENTS	X	X	
		401.26 MANAGEMENT PLANS	X	X	
		401.27 SUPPORTABILITY ANALYSIS	X	X	
		401.28 PROVISIONING REQUIREMENTS	X	X	
		401.29 VALIDATION	X	X	
		401.2.10 ILS OUTPUT PRODUCTS	X	X	
		401.2.11 LSAR UPDATES	X	X	
		401.2.12 PROVISIONING SCREENING	X	X	
		402 - EARLY FIELDING ANALYSIS			
402.21 NEW SYSTEM IMPACT				X	
402.22 SOURCES OF MANPOWER AND PERSONNEL SKILLS				X	
402.23 IMPACT OF RESOURCE SHORTFALLS				X	
402.24 COMPARATIVE RESOURCE REQUIREMENTS				X	
402.25 PLANS FOR PROBLEM RESOLUTION				X	
403 - POST PRODUCTION SUPPORT ANALYSIS				X	
403.2 - POST PRODUCTION SUPPORT PLAN				X	
500 - SUPPORTABILITY ASSESSMENT	TO ASSURE THAT SPECIFIED REQUIREMENTS ARE ACHIEVED AND DEFICIENCIES CORRECTED	501 - SUPPORTABILITY TEST, EVALUATION, AND VERIFICATION			X
		501.21 TEST AND EVALUATION STRATEGY	X	X	
		501.22 SYSTEM SUPPORT PACKAGE COMPONENT OBJECTIVES AND CRITERIA	X	X	
		501.24 UPDATES AND CORRECTIVE ACTIONS	X	X	
		501.25 SUPPORTABILITY ASSESSMENT PLAN (POST DEPLOYMENT)	X	X	
		501.26 SUPPORTABILITY ASSESSMENT (POST DEPLOYMENT)	X	X	

ANNEXE 4 : TABLE DES ILLUSTRATIONS

Schéma 1 - La logistique selon le CSCMP	13
Schéma 2 - Le périmètre étendu de la logistique	13
Schéma 3 - La Supply Chain en théorie	15
Schéma 4 - La Supply Chain dans la réalité.....	15
Schéma 5 - La base de données informatiques de la Supply Chain	17
Figure 1 - Évolution des coûts d'un système.....	19
Figure 2 - Incidence d'une modification sur les coûts.....	19
Schéma 6 - Schéma comparatif des processus de conception	19
Schéma 7 - Où est la « Support Chain » ?	21
Schéma 8 - Définition d'un système.....	23
Schéma 9 - Définition d'un système de systèmes.....	23
Image 1 : Le principe d'émergence.....	23
Image 2 - Le risque et les effets de dépendance des propriétés émergentes.....	25
Image 3 - Le caractère imprévisible de la complexité.....	25
Schéma 10 - Les trois complexités de la nouvelle ingénierie	27
Schéma 11 - Architecture des complexités	27
Image 4 - Bande dessinée du Soutien Logistique.....	35
Image 5 - 1 ^{ère} Bande : L'Usage	37
Image 6 - 2 ^{ème} Bande : Le Soutien Technique	37
Image 7 - 3 ^{ème} Bande : La Logistique de Récupération.....	37
Image 8 - 4 ^{ème} Bande : La Logistique de Réparation	39
Image 9 - 5 ^{ème} Bande : La Logistique de Redistribution.....	39
Schéma 12 - Synthèse conceptuelle de la BD.....	41
Schéma 13 - Les facteurs de la fiabilité	45
Figure 3 - La courbe en baignoire de la fiabilité.....	45
Tableau 1 - Les facteurs de la maintenabilité	47
Schéma 14 - Les états successifs d'un système réparable	47
Schéma 15 - Améliorer la maintenabilité	49
Schéma 16 - Les facteurs de la disponibilité	49
Tableau 2 - Calculer les disponibilités.....	51
Schéma 17 - Analyser et améliorer la disponibilité opérationnelle	51
Graphique 1 - Phasage macroscopique des activités du Soutien dans le cadre du standard S3000L.....	57
Schéma 18 - Dépendance du plan de maintenance au contexte opérationnel	59
Photo 1 - Équipements énergie à alimenter sans coupure.....	61
Schéma 19 - Composants d'un système ASI standard.....	61
Image 10 - Couverture CCTP du marché ASI.....	63
Image 11 - Objet du CCTP.....	63
Image 12 - Prestations de Soutien Logistique Intégré du CCTP.....	65
Image 13 - Procédure réparation CCTP.....	67
Image 14 - Bordereau de prix des lots de rechange.....	67
Image 15 : Bordereau de prix des prestations ASI.....	69
Image 16 : Bordereau de prix des ASI.....	69
Image 17 - Exigences de formation.....	71
Image 18 - Niveaux de maintenance	71
Image 19 - Descriptif des contrats de maintenance de Schneider Electric.....	73
Image 20 - Descriptif de la proposition de Legrand pour l'appel d'offres DSNA	73
Image 21 - Engagements Schneider Electric en termes de maintenance	75

Image 22 - Points forts des services logistiques de Schneider Electric	75
Image 23 - Gamme d'onduleurs Legrand	77
Image 24 - Variantes dans une des gammes d'onduleurs Legrand	77
Image 25 - Options des onduleurs Legrand.....	79
Image 26 - L'économie globale de l'industrie spatiale.....	85
Figure 4 - Satellites mis en orbite en 2018 selon le type de clients, l'orbite visée et le type de mission	89
Figure 5 - Nombre de satellites et masses satellisée par gamme de masse en 2018	89
Figure 6 - Nombre de satellites de plus de 10 kg mis en orbites LEO et ISS en 2018.....	91
Figure 7 - Nombre de satellites mis en orbite GEO/GTO en 2018.....	91
Figure 8 - Utilisation des Lanceurs entre Avril 2009 et Mars 2010.....	93
Figure 9 - Lancements commerciaux vs Lancements non-commerciaux entre Avril 2009 et Mars 2010.....	93
Figure 10 - Tendances de lancement commercial entre Octobre 2008 et Septembre 2009.....	95
Photo 2 : Maquette d'Ariane 5 de la Cité de l'espace	95
Figure 11 - Historique des lancements commerciaux entre Janvier 2004 et Décembre 2008.....	97
Figure 12 - Succès de lancement vs Échecs de lancement entre Avril 2009 et Septembre 2009.....	97
Figure 13 - Historique des lancements commerciaux orbitaux par quantité et par secteur d'activité depuis 2008 jusqu'à une projection en 2027	99
Figure 14 : Historique des lancements commerciaux orbitaux par destination orbitale depuis 2008 jusqu'à une projection en 2027	99
Schéma 20 - Éléments caractéristiques d'un satellite classique.....	101
Figure 15 - Modèle de mortalité d'un satellite.....	101
Photo 3 - Modèle d'un CubeSat classique	101
Photo 4 - ION CubeSat Carrier	103
Figure 16 - nanosatellite lancés depuis 1998 jusqu'à une projection en 2023.....	103
Schéma 21 - Principales étapes d'un vol classique d'Ariane 5.....	103
Schéma 22 - Principaux éléments de l'organisation industrielle d'Ariane 6	105
Schéma 23 - Un schéma typique d'intégration et de processus logistiques d'un lanceur.....	105
Schéma 24 - Principales étapes d'un vol classique de Falcon 9.....	107
Figure 17 - Part des lancements institutionnels et commerciaux de SpaceX entre 2013 et 2018, comparés à la répartition de ses sources de chiffre d'affaires.....	107
Figure 18 - Nombre de lancements par pays et nombre de satellites lancés avec succès et masse satellisée en 2020.....	109
Figure 19 - Nombre de lancements orbitaux par type de lanceur et nombre de fusées lancées comparés au nombre de satellites mis en orbite en 2020.....	109
Figure 20 : Statistiques d'Arianespace, SpaceX et ULA en 2018	111
Figure 21 : Statistiques d'Arianespace, SpaceX et ULA en 2020 :.....	111
Schéma 25 : Les principaux axes de compétitivité d'un système	113
Schéma 26 : Cycle de vie d'un système par rapport à un minimum de performance exigé.....	113
Photo 5 - Équipe projet ArianeWorks	117
Photo 6 - Le prototype Frog.....	117
Schéma 27 - Logique incrémentale de démonstration pour la réutilisation du premier étage.....	119
Schéma 28 - La boucle de rétroaction fondamentale et ses horloges	119
Schéma 29 - Éléments constitutants d'une Ariane 5-ES	121
Schéma 30 - Éléments constitutants d'une Falcon 9.....	121
Schéma 31 : Les 8 axes d'innovation prioritaires retenus par la Direction des Lanceurs du CNES.....	123
Image 27 - Système de mesure de la masse d'ergol restante.....	123
Image 28 - Contrôle non-destructif des défauts et de la fatigue des matériaux via la technique des positons	
Image 29 - Diagnostic structurel embarqué des défauts par technique piézoélectrique.....	125
Schéma 32 - Diagnostiquer dans la boucle de rétroaction	127
Image 30 - Système de « Health Monitoring » avec communication Lanceur/Base-sol	127
Image 31 - Remplacement de câbles par des liens LiFi	129
Schéma 33 - Communiquer dans la boucle de rétroaction	129
Image 32 - Système de « Health Monitoring » autonome avec aide à la prise de décision.....	131

Image 33 - Logiciel embarqué de pilotage automatique.....	131
Schéma 34 : Décider dans la boucle de rétroaction	133
Photo 7 - Plaquette de puces de 2 nanomètre réalisée par IBM.....	139
Image 34 - Supercalculateur Aurora de nouvelle génération d'Intel	139
Schéma 35 - Logique fonctionnelle hiérarchique des couches.....	139
Image 35 - Marque Niosense.....	141
Photo 8 - Equipe et locaux du Centech	141
Image 36 - Coffret de gestion de feux de signalisation.....	141
Image 37 - Améliorer la mobilité des poids lourds.....	143
Image 38 - Améliorer la circulation des piétons et des cyclistes	143
Image 39 - Améliorer la mobilité des véhicules légers.....	143
Schéma 36 - La métaphore de la boîte noire.....	145
Schéma 37 - la boucle de rétroaction fondamentale et ses horloges	147
Image 40 - Projet Titan avec l'Apple Car	149
Image 41 - Tesla Modèle S	157
Image 42 - Tesla Modèle 3	157
Image 43 - Tableau de bord épuré d'un modèle 3 de Tesla	159
Figure 22 - Évolution du nombre de véhicules immatriculés en France.....	163
Image 44 - Le Business Model de Lizee : From Selling to Renting.....	163
Figuré 1 : Le Supply Chain Management.....	179
Figuré 2 : Schéma du cycle de vie du carton.....	180
Carte 1 : Le trafic illégal de déchets dans le monde.....	182
Figuré 3 : Principe du biorecyclage enzymatique Carbios.....	183
Figuré 4 : Schéma du cycle de vie du plastique.....	184
Photo 9 : Recycleur de bouteille Monoprix.....	185

ANNEXE 5 : TABLE DES MATIÈRES

PAGE DE COUVERTURE : LE SOUTIEN LOGISTIQUE INTÉGRÉ EST-IL VOUÉ À RESTER UNE PRESTATION DE LUXE DU SUPPLY CHAIN MANAGEMENT ? 0

INTRODUCTION : LA LOGISTIQUE DE SOUTIEN, UNE PRESTATION BIEN À PART DE LA SUPPLY CHAIN..... 10

PARTIE 1 : LE SLI, UNE PRESTATION MÉCONNUE, PEU VALORISÉE ET PEU VALORISABLE DANS LES CONDITIONS RÉGLEMENTAIRES ACTUELLES DES MARCHÉS 32

I.	Qu'est-ce que le soutien logistique intégré précisément ?.....	34
A.	Éclaircissement conceptuel d'une approche séquencée au double enjeu : disponibilité opérationnelle et maîtrise du coût global.....	34
1.	1 ^{er} niveau de lecture factuel à la case : les éléments du soutien logistique.....	36
2.	2 ^{ème} niveau de lecture par bandes : les phases du soutien logistique.....	38
3.	3 ^{ème} niveau de lecture à la planche : la gestion du soutien logistique, un enjeu du slt.....	42
B.	Une discipline centrée autour de la sûreté de fonctionnement des systèmes.....	44
1.	La fiabilité.....	46
2.	La maintenabilité.....	48
3.	La disponibilité.....	50
C.	La méthodologie de l'analyse du soutien logistique (asl), une démarche chronophage et difficile d'accès ?.....	54
II.	Regards et positionnement des parties prenantes sur le soutien logistique intégré au travers de l'exemple du marché des asi pour la dgac.....	62
A.	La méconnaissance et les incohérences du cahier des charges des exigences clients en matière de soutien logistique.....	62
B.	Des offres de soutien standardisées et généralistes : le problème du principe d'acquisition.....	72
C.	Vers un « soutien logistique initial » : le problème du sur-mesure.....	78

PARTIE 2 : LE SLI, UNE INSPIRATION POURTANT SOURCE DE SUCCÈS ÉCONOMIQUES MAJEURS DE CES DERNIÈRES ANNÉES 82

I.	Étude de marché du spatial : le succès de spacex et des cubesats.....	84
----	---	----

A. Le contexte	86
B. Les acteurs	86
C. Les segments de marché	88
D. Les évolutions du marché	94
1. La situation en 2009	94
2. L'évolution depuis 2009	100
3. La situation en 2020/2021	110
E. Synthèse de l'étude	114
II. Les stratégies de conception et de soutien des lanceurs réutilisables de spacex, arianeworks et du cnes 118	
A. Appliquer une démarche itérative conception/essai pour bénéficier d'un retour d'expérience et appréhender la soutenabilité opérationnelle	118
B. Construire une démarche de conception modulaire sur-mesure, mais standardisée au système ...	120
C. Développer des moyens de diagnostics pour contrôler l'état du « hardware ».....	124
D. Développer des moyens de communication embarqués pour informer en temps réel : le « software »	128
E. Amener de l'intelligence décisionnelle au système embarqué	132
PARTIE 3 : LE SLI, UN SAVOIR-FAIRE INCONTOURNABLE À L'AVENIR POUR MAÎTRISER LA COMPLEXITÉ CROISSANTE DES SYSTÈMES ?	136
I. Un monde de systèmes de plus en plus complexe pour l'homme	138
A. La complexité numérique comme catalyseur.....	138
B. La ville intelligente de niosense	142
C. La problématique des systèmes ubiquitaires	148
II. D'un développement de systèmes exploitables à un développement de systèmes exploités.....	154
A. L'évolution des modalités de contractualisation : le « performance-based logistics »	154
B. L'évolution du modèle d'affaires : l'intégration verticale de l'exploitation	158
C. L'évolution des modèles de vente : la location du service plutôt que l'acquisition du bien.....	162
CONCLUSION : UN SCHISME LOGISTIQUE PROFOND EST EN COURS D'ÉCLOSION ENTRE SUPPLY CHAIN ET SUPPORT CHAIN.....	166
ANNEXE 1 : SOURCES BIBLIOGRAPHIQUE ET WEBOGRAPHIQUES	172
I. ARTICLES ET LIVRES SCIENTIFIQUES :	172
II. RAPPORT :	173

III.	PRESSE :	173
IV.	WEBOGRAPHIE :	176
V.	CONFÉRENCES :	177
 ANNEXE 2 : ORIGINE DU SUJET ET POSITIONNEMENT		178
I.	Origines du sujet	178
A.	Un problème initial de gestion de stock	178
B.	La prise de conscience de la situation de linéarité à sens unique des circuits de distribution	179
C.	Les conséquences mondiales d'une supply chain qui se désresponsabilise de la fin de vie des produits : la faute au modèle d'acquisition ? (1 ^{er} postulat)	180
D.	Les limites du modèle de développement durable basé sur le recyclage	183
II.	Problématiques intermédiaires	186
III.	Hypothèses de recherche	186
 ANNEXE 3 : TÂCHES DE L'ASL : MIL-STD-1388-1A		187
 ANNEXE 4 : TABLE DES ILLUSTRATIONS		192
 ANNEXE 5 : TABLE DES MATIÈRES		195