

*Séance publique du 4 novembre 2013*

## **L'innovation spatiale d'hier et surtout de demain**

**par Pierre BÉTIN, membre correspondant**

### **I – Introduction**

Je vous ai déjà parlé de la **conquête spatiale**. C'est ma passion depuis 55 ans, ce fut ma profession comme l'a trop aimablement rappelé votre président. C'est encore une de mes distractions préférées et aussi une de mes préoccupations principales.

Vous connaissez tous les exploits qui ont émaillé le dernier demi-siècle avec la satellisation de Spoutnik en 1957, Gagarine sur orbite en 61, les premiers pas sur la Lune en 69, la Navette, la Station Spatiale, les robots sur Mars, et avec toutes ces fusées dont Ariane, tous ces satellites, toutes ces sondes qui, en quelques décennies, ont changé notre connaissance de l'univers, notre compréhension du Globe Terrestre, notre capacité de communication et d'observation.

J'aurai pu avoir la faiblesse de poursuivre avec vous ce voyage dans l'Espace, tant le sujet est inépuisable et le trajet désormais confortable...

La situation de crise m'a incité à vous proposer plutôt une pause, un arrêt sur images, pour un petit essai de réflexion en commun. En effet, dans cette période d'austérité, de précaution, de morosité, de peur du risque, il est bon de prendre du temps pour méditer, pour voir loin, pour lever la tête afin de distinguer l'essentiel et de ménager le grand avenir. Il faut tenter de percer un peu ces nuages qui obscurcissent notre cosmos; le tenter avec ardeur mais avec respect pour le légitime effort de rigueur immédiat.

Fort justement le mot à la mode dans les ministères, dans les salons, dans les médias, est enfin le mot "**Innovation**". Oui, enfin, l'innovation semble devoir être reconnue comme le moteur du progrès, comme l'atout maître de l'Occident et, j'en suis heureux, comme une cause nationale prioritaire.

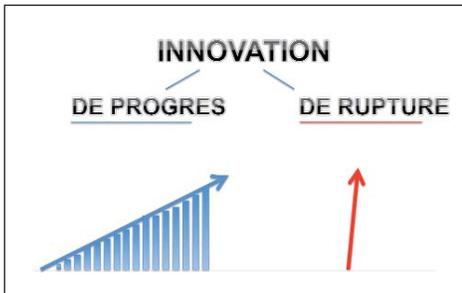
Peut-on professer l'innovation ? Je l'ignore, mais, pour l'avoir côtoyée en permanence et souvent pratiquée dans l'Air et l'Espace, il me semble préférable de l'illustrer. De l'illustrer afin de faire prendre conscience de ses multiples formes, de ses multiples origines, de ses multiples apports, de ses multiples conséquences. De l'illustrer pour éveiller le désir, l'envie, la passion d'innover à une jeunesse dont c'est le tour, dont c'est la chance. Alors comment mieux le faire qu'en feuilletant le fabuleux catalogue de l'aventure spatiale si riche en innovations.

A l'occasion, sur ma lancée, j'évoquerai certains défis auxquels nous devrions être confrontés à moyen et long terme dans l'Espace et, avec imprudence peut-être, des innovations encore utopiques que nous espérons voir éclore pour y répondre. Il s'agit d'une autre approche de nature à faire rêver notre jeunesse et, pourquoi pas, à consolider notre relèvement. **L'enjeu est considérable, la compétition redoutable**. Pour

tenir notre rang et gagner encore, de brillants talents innovants seront indispensables. Merci, chers Confrères, de faire passer le message et peut-être maintenant d'attacher votre ceinture...

## II – L'innovation

Alors oui, l'Innovation c'est l'Economie et le Social de demain. L'innovation c'est aussi une source de vitalité, d'enthousiasme, de rayonnement et de fierté, de fierté collective. Mais, on le sait, l'innovation dérange, décoiffe, divise, détruit pour mieux reconstruire autrement et parfois ailleurs. Furetière la redoute qui, dans son dictionnaire de 1690, considère l'invention comme une "subtilité de l'esprit" et, à l'évidence, craint sa transformation en innovation : "L'invention de la poudre à canon est diabolique" proclame-t-il, mettant déjà à l'index le poudrier innovant ! Et Furetière de conclure doctement : "**Pour vivre en paix il ne faut rien innover**". Certes, mais avant de vivre en paix il faut vivre, et plus que jamais pour vivre il faut gagner et pour gagner il faut innover...



Que recouvre donc le terme innovation ? Une modification majeure, une évolution substantielle qui concourent au progrès en font-elles partie ? Ou bien seulement une révolution qui bouleverse l'ordre des choses, termine un passé, tourne une page, change les techniques et les comportements ? A mon avis, les deux méritent l'honneur d'être appelées

innovation, sous réserve de les distinguer comme **Innovation de progrès** et **Innovation de rupture**. Les distinguer sans les opposer pour mieux les conjuguer.

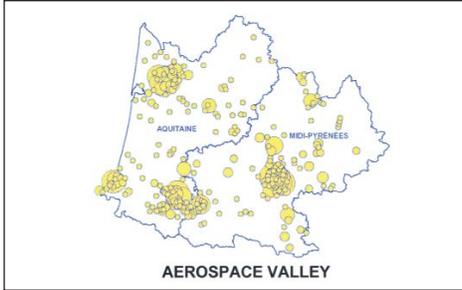
La première est structurée et permanente. C'est le job de l'avant-garde de la Grande Armée Economique.

La seconde est spontanée et peu fréquente. Elle relève d'opérations de commandos intrépides qui osent oser.

Dans le monde de l'aérospace, l'effort d'innovation est désormais soigneusement orchestré. Un programme annuel, dit de **R&T (Recherche et Technologie)** pour ne pas le confondre avec les développements ciblés ultérieurs, est élaboré, exécuté et évalué selon une méthodologie éprouvée. Il s'inscrit dans un plan à long terme qui définit objectifs, étapes et feuilles de route. Il décrit les recherches et travaux de l'année, détaille les budgets alloués, précise les rendez-vous importants, irrigue du "bottom" au top de la hiérarchie et veille à une bonne synergie transverse. Il s'appuie largement sur des partenariats scientifiques de très haute qualité. En tout l'on veille à l'excellence. Il est vrai que l'investissement consenti est considérable, tant par l'Etat et l'Europe que par l'Industrie qui y consacre plus de 5% de son chiffre d'affaires. C'est énorme.

L'innovation de progrès qui en résulte, est **féconde** et permet à nos champions de chevaucher dans le peloton de tête international. Notre industrie de l'Air et de l'Espace se porte bien. Elle est en croissance, elle est compétitive et rentable malgré

notre taux de change et nos coûts élevés, elle exporte et pèse lourd dans la balance commerciale du pays, elle rayonne, elle brevète, elle investit et miracle elle embauche... en France.



Notre Grand Sud-Ouest est une des toutes premières places fortes mondiales avec son effectif d'environ 100 000 professionnels. Le pôle d'excellence *Aerospace Valley* conforte la relation Bordeaux – Toulouse et prépare l'avenir en impliquant le monde de la recherche, de la formation et des petites entreprises. Ceci dit, la meute des poursuivants

grossit, nous talonne et commence à nous menacer. Il convient non seulement d'intensifier l'effort et d'accélérer l'application mais aussi d'être à même, le jour venu, de **jumper**, afin de surprendre et de distancer nos adversaires grâce à une innovation de rupture.

On l'a dit, l'innovation de rupture c'est une révolution. Mais qui la porte, qui la provoque ? Comment jaillit l'étincelle ? Le plus souvent c'est à partir d'une idée originale, d'une inspiration soudaine, d'une vision géniale, **celle d'un inventeur** qu'il soit d'origine universitaire, industrielle, économique ou autre. Un inventeur que l'on taxe, longtemps après le succès... de père. Vous connaissez ce genre de personnage non-conforme qui perturbe la routine et tourmente les tabous, ce personnage curieux qui regarde ailleurs et voit autrement, ce personnage passionné qui ne pense qu'à ça, ce personnage obstiné qui refuse l'évidence de l'impossible. Un peu en marge, étonnant pour ne pas dire effrayant à vivre, il est, croyez-moi, bien difficile à manager dans un Grand Groupe.

Mais **son impact peut être décisif**. Il met le feu aux poudres. Encore faut-il, comme en propulsion, qu'il y ait de la bonne poudre dans un bon moteur pour espérer satelliser. Tant il est vrai que si l'invention est souvent un acte individuel, sa transformation en innovation ne peut être qu'une œuvre collective. A vrai dire l'innovation de rupture suppose réunis :

- le génie créatif de l'inventeur ;
- le savoir académique du chercheur ;
- la compétence technologique de l'ingénieur ;
- le flair économique de l'entrepreneur.

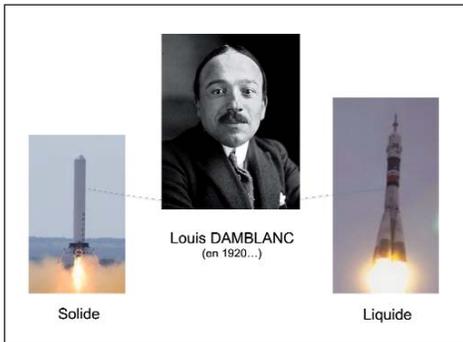
En communion et si le contexte est favorable, l'économie porteuse et ... la chance au rendez-vous, ces acteurs peuvent ensemble devenir **des innovateurs de rupture**. Mais ces conditions sont exceptionnelles, la mortalité des projets est forte, le plein succès aussi rare que le podium olympique.

Un constat essentiel : la France est riche en ingénieurs, en chercheurs et ne manque pas trop d'entrepreneurs. Mais **quid des inventeurs** ? Où se cachent-ils ? Sait-on les révéler, les former ? Sait-on les attirer, les confesser puis les conserver frais et offensifs ? L'on s'en préoccupe bien mal et heureux celui qui croit la chose facile...

Je me souviendrai toujours du premier inventeur que j'ai eu la chance de rencontrer. C'était au tout début des années 60, il y a un demi-siècle déjà ! Jeune ingénieur désireux de faire des fusées, je m'efforçais d'apprendre la genèse de la poudre et de la propulsion. A titre de bizutage professionnel j'avais même dû effectuer une synthèse de l'évolution de la poudre noire à travers les âges !

Mon plaisir était d'aller au Palais de la Découverte dans les pas de Copernic, Galilée, Kepler, Newton, dont on m'avait si peu parlé à l'école, alors que je connaissais par cœur les maréchaux et les batailles de Napoléon Bonaparte. J'avais lu Jules Verne mais aussi Tintin et Milou qui, eux au moins, allaient sur la Lune en fusée et non pas en obus. J'admirais surtout les quatre pionniers de l'astronautique que furent le visionnaire russe Tsiolkovski à qui l'on doit la démonstration du fonctionnement des fusées dans le vide et la célèbre phrase "**La Terre est le berceau de l'Humanité mais est-on fait pour demeurer éternellement dans son berceau**" ?, et aussi l'Américain Goddard le premier à expérimenter des fusées à ergols liquides, le Roumain Oberth, père spirituel de Von Braun, et bien sûr le Français Robert Esnault-Pelterie qui allait devenir mon idole astronautique.

C'est alors qu'en plein hiver je vis arriver un vieux monsieur, misérable d'allure, emmitoufflé, engoncé au possible et coiffé d'un chapeau hors d'âge. Le malheureux qui venait à pied de la gare jusqu'à notre poudrerie, éloignée comme il se doit, m'apparut givré à tous égards. Il se disait inventeur et cherchait documentation et conseil. Mon maître d'alors, absent ce jour-là, avait accepté de l'aider dans sa tentative de faire valoir ses droits relatifs à un brevet qu'il avait déposé en 1936. Revigoré, le regard allumé sous son front immense, il me parla avec passion d'astronautique. **Il avait inventé la fusée à étages**. J'en savais le principe qui consiste à fractionner la propulsion et à larguer les étages épuisés pour alléger le fardeau. J'en découvris grâce à lui les nombreuses subtilités.

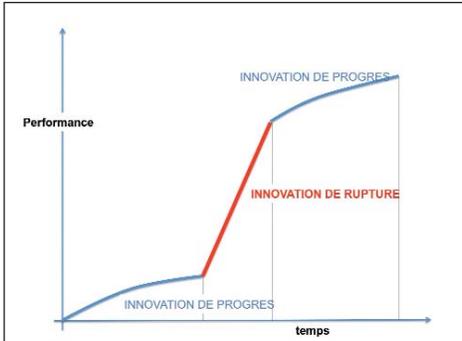


**Il s'appelait Damblanc, Louis Damblanc.** Il m'enchantait, il était génial mais amer de voir la France hors course de l'aventure des fusées. Les Allemands désormais exclus, les Soviétiques inabornables, restaient les Américains qui, depuis vingt ans, développaient et lançaient des fusées à étages... sans lui payer la moindre redevance. Son contentieux était mal engagé mais notre homme n'était aucunement résigné. Il avait le

feu sacré. Depuis, j'ai souvent réfléchi à **l'importance d'avoir un inventeur dans son moteur**. Sachez que, peu de temps avant sa mort, on lui versa un petit pactole, trop tard pour qu'il en profite mais à temps pour qu'il soit heureusement reconnu. Quant à moi, j'ignorais alors que, toute ma vie, je ferai des fusées à étages...

Pour en terminer avec l'innovation de rupture, soulignons encore que **la conjugaison harmonieuse de l'innovation de progrès permanente et d'une innovation de rupture opportune, constitue la clé suprême de la stratégie d'innovation**. Sans rupture qui la relaie l'innovation de progrès s'épuise et stagne à l'asymptote. Sans progrès qui la consolide et la pérennise, l'innovation de rupture

s'étiole et secrète désordre et désillusion. Que faut-il d'autre ? Eh bien : que le promoteur de l'innovation veuille, sache et puisse la faire accepter, la faire adopter, la faire appliquer en ouvrant de nouveaux horizons et en étant, à la fois, agitateur, décideur, enjôleur et diplomate dans un monde concurrentiel de plus en plus complexe ... que bien sûr, je comprends de moins en moins !

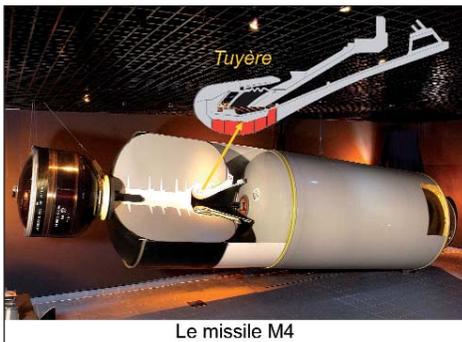


Afin d'illustrer ce type de démarche d'innovations conjuguées, permettez-moi de vous conter une saga vécue qui, en son temps, a bluffé le petit monde de l'aérospace et mené à un succès complet, étonnamment durable. Pardonnez-moi de puiser dans ma besace d'ancien combattant spatial. Je le fais sans nostalgie mais sans amnésie en adressant un légitime remerciement à mes valeureuses équipes d'antan et un amical encourage-

ment à nos descendants aux prises avec de nouveaux défis pour la **maîtrise du feu**.

### III – La révolution composite thermostructurale

1973 – La Force de Dissuasion française voulue par le Général de Gaulle est opérationnelle. Les fusées porteuses de la bombe sont déployées dans les silos et les sous-marins. Notre brave petit lanceur Diamant a déjà satellisé à sept reprises. Parmi les nombreux programmes décidés sous la présidence de Georges Pompidou, le nouveau missile M4 et le lanceur européen Ariane vont solliciter fortement l'industrie des fusées récemment structurée. Avec le M4 l'on vise à accroître la portée et l'emport tout en améliorant la fiabilité et la durée de vie en service. Ceci pour une dépense forfaitaire strictement fixée. L'ambition est grande mais la rigueur est de règle. L'on a abandonné "le coûte que coûte" de la décennie précédente !

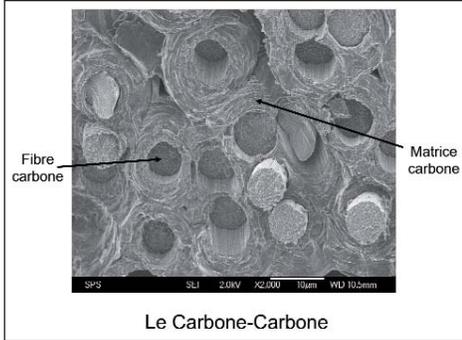


Le missile M4

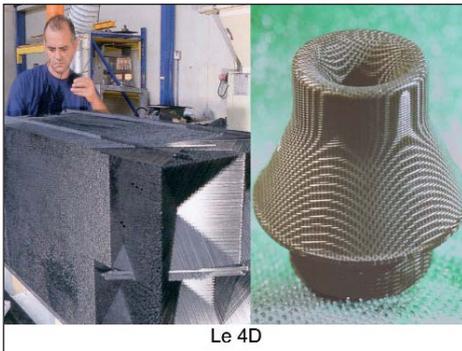
La propulsion va faire peau neuve grâce à **une innovation de rupture générique décisive, l'avènement des matériaux composites**. L'on avait dû pour nos missiles de première génération avoir recours à l'acier pour les structures, au tungstène pour les parties chaudes des moteurs. Quel handicap de poids colossal pour s'envoler !! La mise au point de composites à partir de fibres et de résines dotées de bonnes

propriétés mécaniques va changer la donne. Sur le M4 la masse des structures sera réduite de moitié. Reste le problème de cet organe principal du moteur qui transforme l'énergie thermique, obtenue par la combustion de la poudre, en énergie de

poussée et que l'on appelle **tuyère**. C'est la partie la plus chaude du moteur-fusée, de l'ordre de 2500°, c'est-à-dire deux fois plus que dans un moteur d'avion. Eh bien, voici ce qui arriva... ce qui arriva à Bordeaux.



des couturières nous confectionnons les préformes de nos pièces, puis les densifions, c'est-à-dire déposons dans ces édifices poreux une matrice carbone par "cracking" d'hydrocarbures gazeux dans des fours sous vide à induction. Autre prouesse. Un processus complexe et délicat qui met en œuvre les métiers du textile, de la chimie et surtout celui de charbonnier de l'avenir, un métier d'enfer. Le progrès est certain mais, compte tenu de l'enjeu extrême qu'est la Dissuasion, le produit nous paraît manquer de robustesse. Pour éliminer tout risque de délaminage, une préforme multidirectionnelle serait souhaitable.



est développé sans faute, dans les délais et dans les budgets. Depuis trente ans il équipe nos tuyères et le score est parfait : zéro rebut, zéro échec. Une invention aussi simple qu'élégante, rapidement transformée par nos technologues du carbone en une splendide innovation de rupture, une véritable assurance tout risque thermostructurale, un début de renommée internationale mais un refus de céder la moindre licence.

Autre chantier, avec nos cousins de Messier Bugatti, nous préparons des freins à disques en carbone. Dassault les qualifie en 1978 sur Mirage 2000. La distance de freinage est réduite, l'allègement significatif, la maintenance simplifiée. Le Ministère de la Défense est satisfait de cette retombée technologique de la Dissuasion. Parallèlement nous freinons carbone des bolides de Formule 1 et aidons Alain Prost

Il nous faut donc un matériau composite mécaniquement très solide et thermiquement très stable. Depuis 5 ans, pied au plancher, nous développons à la SEP une sorte de béton armé dont l'armature est en carbone et la matrice en carbone, d'où son appellation de **carbone-carbone**. Nous carbonisons des tissus de rayonne dans des fours en continu à 2000°, une prouesse, nous les imprégnons de résines exotiques, puis telles

C'est alors que, célibataire de l'été 1975 et invité à déjeuner par mon chef de labo, je découvre son violon d'Ingres. Il adore construire en famille des maquettes géométriques à l'aide de spaghettis. L'une d'elles entrecroise les quatre diagonales d'un cube. Sans attendre nous réalisons en carbone cette anti-pyramide, nous la densifions, nous la brevetons. Le **carbone-carbone 4D** s'avère incassable. Nous l'utilisons sur le M4 qui

à devenir champion du monde. Mais notre carbone est onéreux. Trop pour ouvrir le marché et accéder à l'Airbus. Il convient d'apporter, en plus de la performance et de la sécurité, une valeur économique tangible. Une nouvelle innovation de rupture est absolument indispensable, une innovation économique cette fois.

Je décide de frapper les esprits, de frapper fort. J'ouvre une période de "*brainstorming*". Après avoir félicité nos équipes qui depuis dix ans innovent avec succès, j'annonce ma volonté de disposer aussi du "carbone du pauvre". Et de voir sourire les meilleurs lorsque je martèle : "**cette fois, je ne veux pour ce carbone rustique : ni tissu, ni tissage, ni résine**". Farce pour les conformes mais éveil pour quelques non-conformes qui osent se montrer.



L'émulation fait effet et, magie des mots peut-être, un ingénieur très peu conforme, me propose une piste insolite. "Monsieur, vous avez dit "ni tissu, ni tissage", peut-être accepteriez-vous un non tissé ?" et d'exhiber un immonde échantillon.

Nous y sommes ou plutôt nous y serons trois ans plus tard lorsque, au Salon du Bourget 1983, un Airbus freinera carbone. Entre temps notre ingénieur invente une texture non tissée, sorte de moquette aiguilletée en carbone que nous baptisons **Novoltex** et que nos technologues densifient jusqu'à lui donner des propriétés acceptables. Nous faisons le *breakthrough* économique, trois fois moins coûteux que notre carbone du Mirage. Alors Messier gagne le marché du freinage Airbus. En 1985 nous créons une capacité de production annuelle de cent tonnes. Le Novoltex est désiré aux Etats-Unis. Nous y cédon's une licence, puis dix ans après Messier ouvre dans le Kentucky "*a bran-new carbon plant*". Au total en 30 ans, 20 000 tonnes de carbone Novoltex sont produites, 5 millions de disques vendus. Messier et notre licencié s'adjugent 90% du marché mondial. En Formule 1 nous approchons les 300 victoires. Le Novoltex triomphe. Quant au génial inventeur il reçoit le "Prix Science et Défense 2001".

Vous le devinez, je pourrais allègrement poursuivre l'histoire de cette révolution composite thermost-structurale qui, oh surprise, allait voir le carbone Novoltex développé pour le freinage, rebondir vers les tuyères des gros boosters d'Ariane 5. Je pourrais surtout chanter cette invention merveilleuse, brevetée par le laboratoire mixte que nous créons en 1988 à Bordeaux avec le CNRS et l'Université, **l'invention des composites à matrices céramiques**, cette



Pièce céramique pour moteurs d'avions

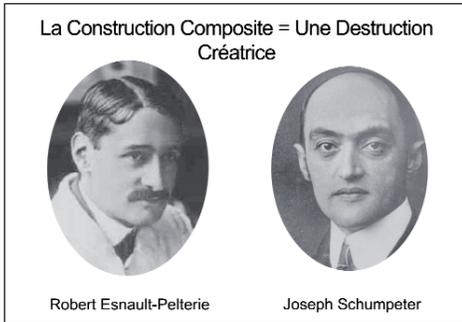
fois. La France est la première au monde à armer des céramiques. Aujourd'hui, deux

décennies plus tard, après qu'une intense innovation de progrès ait consolidé cette innovation de rupture, Safran est en pôle position dans la compétition qui s'amorce pour la réalisation **des moteurs d'avions en céramiques du futur**. Des moteurs dont la masse, la consommation, la pollution, le bruit seront réduits de manière drastique. Un défi économique et écologique capital.



Mais en voilà assez pour illustrer la démarche préconisée de conjugaison d'une innovation de progrès permanente et d'innovations de rupture aussi brillantes que diverses. Saluons seulement nos inventeurs dont je me dois, si vous l'acceptez, de citer les noms : Michel Maistre pour le carbone 4D, Pierre Oly pour le carbone Novoltex, Roger Naslain pour les céramiques armées. Merci à eux et à tous les innovateurs

qui en quarante ans ont fait que **la construction composite supplante la construction métallique**.



Nos moteurs fusées, désormais à 95% composites, sont plus légers et plus performants. Les formes sont devenues plus simples, les pièces moins nombreuses dans des architectures plus dépouillées. La modélisation, la fabrication, le contrôle en sont facilités. La fiabilité est améliorée, la longévité accrue, le coût notablement réduit. Nous avons réussi cette **“destruction créatrice”** chère à

Joseph Schumpeter et suivi avec bonheur la recommandation de Robert Esnault-Pelterie qui, en 1930, prévoyait que l'on irait sur la Lune en fusée à condition de **“travailler en toute priorité... la propulsion et les matériaux réfractaires”**.

Travailler la propulsion, depuis des siècles les maîtres du feu le font, encouragés qu'ils sont par ces fous volants qui, de Icare aux astronautes, désirent monter au ciel. Souvenons-nous...

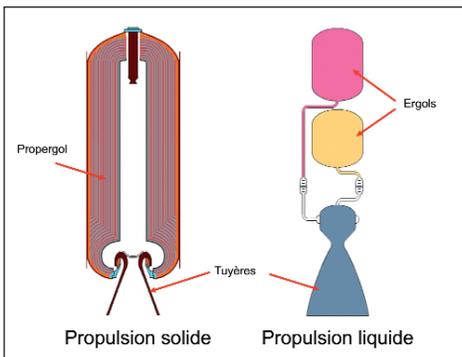
#### IV – Innovation spatiale 15 mn

Souvenons-nous du passé antérieur, de la poudre noire chinoise importée par étapes en Occident. Elle permet aux Anglais de canonner les chevaliers français à Crécy et plus tard d'achever la garde impériale à Waterloo à coup de rockets de Lord Congreve. Comme au foot et au rugby, les British nous devancent. Ils tirent les premiers du temps où la roquette n'est pour nous qu'une “petite herbe bonne pour soigner les dents” et alors que notre terme consacré est bien ce joli et vieux mot de

**fusée.** Il s'est heureusement conservé et couvre aujourd'hui les lanceurs spatiaux, les missiles stratégiques et tactiques toutes catégories. Il est sans équivalent dans l'idiome international.

Mais quel dommage d'avoir oublié que les spécialistes des fusées que les communards recrutent en 1871 sont alors dénommés des **fuséens** ! Quel dommage qu'à côté de l'artilleur, de l'aviateur, notre belle langue ne reconnaisse pas le fuséen ! Risque de confusion avec le fantassin ? Ridicule. J'exprime rarement des regrets, en voici pourtant un, chers confrères : avoir manqué le privilège d'être taxé de fuséen.

L'invention en 1884 du coton-poudre par le français Paul Vieille, celle peu après, des poudres à la nitroglycérine par le suédois Nobel sont deux grandes ruptures pour les armes à feu. Mais il faut attendre l'**essor de la chimie des matières plastiques** pour que la propulsion des fusées prenne de l'envergure. Plastiquer un pont à l'aide de "plastic", qui n'a vu dans les films la rapidité de l'opération ? La pâte dans laquelle est dispersée l'explosif facilite son application et le flegmatise vis-à-vis des frottements. Il en va de même pour la poudre propulsive, mélange qui brûle sans détonner au contraire de l'explosif. La pâte contenant un oxydant est malaxée selon les techniques boulangères, au point que mes maîtres parlaient de pains de poudre, avant d'être versée dans son bidon, comme celle d'un gâteau, puis cuite... lentement au bain-marie. **Le propergol composite est né.** Cette hyper-innovation ouvre la porte au malaxage de volumes importants, au chargement de gros propulseurs, à la réalisation de grandes fusées, et enfin, enfin, à l'accès à l'Espace.



Par chauvinisme bordelais j'ai pris, pour retracer rapidement les innovations principales qui firent passer du feu de bengale à la conquête spatiale, l'exemple de la **propulsion solide**, souvent encore appelée propulsion à poudre même si le pulvérin a disparu. De son côté, la **propulsion liquide** fait, pendant la dernière guerre, les progrès que l'on sait avec Von Braun à la baguette, allemande puis américaine. Le

partage, pour ne pas dire la guerre d'école, entre les deux propulsions prend alors la tournure suivante : propulsion solide chez les militaires de la Dissuasion, propulsion liquide chez les civils de l'Espace. Jusqu'au jour où l'on admet, du bout des lèvres, que la vérité scientifique doit prévaloir, que pour s'extraire de l'attraction terrestre il convient de pousser fort et donc d'adopter la propulsion solide avant d'utiliser en croisière dans l'Espace une propulsion liquide performante comme celle que génère la combustion de l'oxygène et de l'hydrogène, tous deux stockés liquides à très basse température.

Ariane 5 est un **modèle d'utilisation fraternelle de ces deux systèmes propulsifs complémentaires** avec ses deux gros propulseurs solides (ils poussent 600 tonnes chacun pendant deux minutes) et son moteur à ergols cryogéniques le Vulcain (il pousse 100 tonnes pendant 10 minutes). Toutefois une saine émulation continue d'émoussiller la profession, entre deux sociétés aux Etats-Unis, entre deux

unités de Safran chez nous, à Bordeaux et à Vernon. Le métier de la propulsion solide est le digne descendant de celui de l'artilleur, celui de la propulsion liquide s'apparente plutôt à celui de l'aviateur...

Nous sommes fiers d'avoir acquis en France **la double maîtrise de ces feux propulsifs pour nos fusées**. Les équipes respectives sont d'ailleurs en super-forme après avoir développé, à Bordeaux les propulseurs du **M51**, notre nouveau missile stratégique toute distance ou tout emport, et à Vernon le **Vinci**, ce magnifique moteur cryogénique du futur étage supérieur d'Ariane 5 et de celui de la toute nouvelle Ariane 6. Ces programmes sont porteurs de multiples innovations. Parmi elles, la capacité du Vinci de s'éteindre et de se réallumer en vol à plusieurs reprises afin de délivrer les satellites avec encore plus de souplesse et de pouvoir, le travail terminé, s'éloigner de l'orbite de libération très fréquentée.

Au fait **pourquoi Ariane 6** ? Pourquoi cette nouvelle fusée alors qu'Ariane 5 est si belle, si parfaite avec ses 57 succès d'affilée, ses 10 années sans échec, sa part de marché de plus de 60% des lancements commerciaux. Parce que la concurrence monte en puissance et que le marché souhaite avoir le choix, traditionnel dans les transports : taxi ou bus ? voiture ou train ? Ariane 5 est une grosse fusée conçue pour le covoiturage de satellites ou le lancement de charges lourdes telle la navette Hermès, tristement abandonnée, ou l'excellent véhicule européen ATV, ravitailleur de la Station Spatiale Internationale. Ariane 5 ne convient pas bien au client ultra-pressé ou à celui qui désire voyager seul pour des raisons de confidentialité ou de mission spéciale. C'est pourquoi Arianespace achète et tire de Kourou le vieux lanceur soviétique Soyouz, celui de Spoutnik, seulement capable d'un satellite de taille modeste. Solution utile mais fragile pour le futur.



**D'où Ariane 6 avec trois innovations majeures.** Innovation décisionnelle, l'Europe se dotera d'un lanceur moyen pour gros mono-satellite. Innovation économique, sa compétitivité et sa disponibilité seront exemplaires pour faire face aux Asiatiques et aux outsiders américains. Innovation technique, le même propulseur solide équipera le premier et le deuxième étage dans une architecture (1, 2, 3 +1) surmontée du Vinci. **Le juste besoin au moindre coût. L'effet de volume en famille.**

**Ariane 6 remplacera-t-elle Ariane 5 ?** L'Europe, vous le savez, est en turbulence à ce sujet. Et vous devinez la réponse de ceux, qui comme moi, ont la conviction que nous n'en sommes qu'au prologue de l'âge spatial et que l'Europe doit se muscler pour que son avenir soit digne de son glorieux passé. Car à l'évidence, oui le marché de la mise en orbite continuera de s'étoffer. Oui, la taille des satellites et autres fardeaux continuera de grossir. Et oui, l'on continuera de participer activement à l'exploration lointaine en partenariat international. Alors oui, comme les autres grands *players*, l'Europe devra disposer d'une gamme de lanceurs. **Le dogme du lanceur unique est dépassé et le lanceur universel une utopie.** Il nous faut deux fusées au feu.

Certes, Ariane 5 mérite d'être modernisée à mi-vie. Le Vinci lui apporte le surcroît de performance nécessaire. La suppression de précautions accumulées et aujourd'hui superfétatoires, la simplification d'une gouvernance stratifiée, trop complexe et trop coûteuse, permettraient de lui conférer une nouvelle compétitivité. Des innovations de jeunesse aussi mentales que budgétaires, où le courage de simplifier, de supprimer, de soulager, s'impose pour que **le bus Ariane 5 et la berline Ariane 6 soient ensemble, de façon complémentaire, des fleurons de l'Espace du XXI<sup>e</sup> siècle**. L'Europe a les talents, l'argent et le temps pour ce faire. Espérons qu'elle fera preuve de lucidité et de volonté, qu'elle ne succombera pas au "malaise spatial" qui affecte les Etats-Unis.

En 1969 Neil Armstrong est sur la Lune. C'est l'apothéose spatiale, l'expédition humaine la plus grandiose depuis Christophe Colomb, c'est aussi le triomphe américain. Depuis, les Etats-Unis conduisent le train spatial. Leurs succès inspirent le monde entier. Leurs erreurs profitent un peu à leurs lointains poursuivants mais surtout pénalisent l'avenir de l'aventure spatiale. Avec le recul, l'exemple de la Navette est révélateur à cet égard. Reprenons. Le programme Apollo s'achève. Douze astronautes américains ont foulé le sol lunaire. La gigantesque fusée Saturn, la plus puissante réalisée à ce jour, a été d'une fiabilité parfaite. Les Etats-Unis se croient tout permis, tout leur paraît facile.

**Ils osent alors une innovation de rupture sans précédent. Ils décident un avion spatial.** Mais pas un petit pour voir, un gros polyvalent. Polyvalent mais curieusement limité à l'orbite terrestre. Alors, sûrs du succès de ce véhicule universel, les Américains brûlent leurs vaisseaux. Ils renoncent à toutes leurs fusées dont Saturn, à toutes ces fusées consommables étagées, chères à Damblanc, avec lesquelles ils ont construit leur leadership spatial. Ils jouent au poker et délaissent l'exploration de l'Espace lointain. Ils vont perdre sur tous les tableaux.

Trop polyvalente la Navette ne sera pas assez compétitive. Trop complexe elle ne sera pas assez robuste. Et de devoir à contre-cœur et à contre-temps relancer la réalisation de fusées. Et pourtant, quelle merveilleuse machine que ce premier avion spatial, une symphonie d'innovations de rupture exécutée par les plus brillants artistes de l'aérospatiale américaine. Mais quelle déconvenue pour l'ensemble de la profession, quelle désillusion pour les aficionados de l'Espace, quel désastre au plan économique.

Privée de lancements militaires et commerciaux, la Navette trouve sa justification dans la construction d'une Station Spatiale. Pour des raisons budgétaires, la NASA doit internationaliser sa station. Celle-ci devient alors une Tour de Babel difficile à justifier. **Le tandem Navette-Station grève pendant vingt ans les budgets spatiaux et diffère d'autant la relance de l'exploration.** Quant aux astronautes, ils tournent et retournent autour du globe avec cependant des démonstrations essentielles pour l'avenir. L'Homme sait vivre et travailler en impesanteur dans une station spatiale. Il sait construire et réparer en orbite à proximité d'un véhicule. Mais quel gâchis !

Déboussolés, les Etats-Unis accumulent alors les *stop and go*, ballottés qu'ils sont entre des visionnaires imprudents et des gestionnaires trop prudents. Ils rêvent du Graal, de l'avion "*one stage to orbit*" actuellement infaisable, et reviennent à une pâle copie de la fusée Saturn. Le Président Bush lance un programme de retour sur la Lune. Les fusées sont bien conçues mais on omet de dire pourquoi faire sur la Lune. Le Président Obama s'empresse de tout arrêter et imagine plutôt d'aller à la

rencontre d'un astéroïde sans trop savoir pourquoi. Pendant ce temps la NASA consacre le tiers de son budget à la survie de la station alors même que, pour la première fois de leur histoire depuis 1958, **les Etats-Unis n'ont aucune fusée pour mettre en orbite leurs astronautes**, encore moins pour les envoyer dans l'Espace lointain. Honte suprême, **ils sont devenus tributaires des fusées russes**. La NASA discréditée, le Sénat s'arroge alors le droit de définir la grosse fusée qui, demain, remplacera l'antique Saturn. On mesure le malaise spatial américain.

En revanche, plusieurs missions d'explorations automatiques pleines d'innovations, démontrent que si la conquête spatiale est un peu alanguie, elle est loin d'être moribonde et ne demande qu'à rebondir. Et pas seulement du fait de la Chine qui, avec l'ambition d'un régime fort et l'efficacité d'acteurs industriels, poursuit sa route, semble-t-il sans aléas. Un aiguillon important pour **inciter l'Occident à mieux s'allier pour mieux relever le défi**. Alors mi-figue, mi-raisin, ce constat n'est-ce pas ? Je vous devais cette vérité avant de dire pourquoi j'ai la conviction que l'avenir spatial s'annonce hautement prometteur si l'innovation est au rendez-vous.

## V – L'espace du futur

Chers Confrères, un brin de philosophie d'abord. La Grande Histoire est formelle, le destin de l'humanité c'est de vouloir toujours et toujours aller plus loin pour découvrir ce qu'elle ignore encore mais devine exister. Et quand, à force d'en rêver, elle croit en devenir capable, elle monte une **Expédition**. Et quand, grâce à la technique, à des héros et à la chance, elle atteint son but, elle plante un drapeau et déclare vouloir aller plus loin encore. Mais entre-temps s'écoule une longue période d'**Exploration** qui fait que la découverte devient connaissance et compréhension. Puis des idées, des initiatives, et oui des innovations la conduisent à entreprendre la phase d'**Exploitation** qui transforme ces avancées en ressources et en richesses. **Expédition – Exploration – Exploitation**, tel peut, à mon avis, s'énoncer ce triptyque du génie de l'homme à la fois curieux, intelligent et courageux. Il en fut ainsi pendant des millénaires. Il en va et il en ira ainsi dans l'Espace.

Dans la banlieue spatiale de la Terre, c'est-à-dire sur ses orbites, l'exploitation est un *big business*. Sur la Lune l'exploration trop longtemps différée, progresse à nouveau et confirme l'intérêt de ce vaste grenier. Plus loin, dans le système solaire, des expéditions coup de sonde, sans astronautes, sont instructives et donnent envie d'explorer. Bien au-delà, dans l'Espace des astronomes, l'on scrute avec avidité et l'on distingue des merveilles en rêvant de s'en approcher.



En un demi-siècle et en douceur, **nous sommes devenus dépendants de l'Espace Orbital**. Notre communication est désormais planétaire et immédiate grâce à des centaines de satellites situés à 36 000 km de la Terre. La gestion géographique par GPS et prochainement Galiléo, la surveillance météo, agricole, sécuritaire, écologique, par satellites d'observation en réseaux, sont précises et permanentes. Sans

oublier que, né de la Guerre Froide, l'Espace demeure régalien avec son chapelet de satellites militaires qui, tel un bouclier virtuel de prévention, épaula la dissuasion nucléaire pour le maintien de la paix mondiale. Le volume annuel de l'exploitation de l'Espace Orbital dépasse déjà les 200 milliards de dollars. Un jour sans Espace provoquerait une panique sur Terre.

L'Espace Orbital ce sera aussi la première escale naturelle pour les futurs voyages Terre-Univers. Une escale stable, proche de nous et déverminée par la Station. Une escale à l'abri de l'attraction et de l'atmosphère terrestre. Une escale destinée à devenir progressivement un *spaceport* à activités multiples. Tiens, rêvons ensemble d'une situation à vivre un jour lointain : **l'exploitation intensive de la Lune vient d'être décidée en partenariat international**. Il conviendra d'y acheminer fréquemment hommes, infrastructures, machines, véhicules, frets, robots, tout pour y vivre et y travailler durablement. Que fera t-on ? Voudra t-on y aller directement en construisant des fusées géantes, arches de Noë fourre-tout, gouffres financiers et trous noirs de risques ? Absurde.

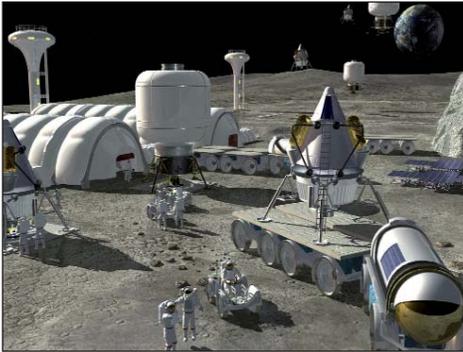
Bien au contraire l'on organisera une **rotation d'escadres de fusées**, spécialisées, complémentaires et compatibles qui, pour la plupart, feront escale au *spaceport* orbital. Des fusées-camions porteuses de matériels lourds, des fusées-citernes remplies d'ergols, des fusées-frigos pour subsistances, d'autres plus élaborées pour objets délicats sans oublier des taxis de travailleurs spatiaux toutes professions. Une opportunité pour les futures Ariane et peut-être une résurrection d'Hermès !?

Arrivé à l'escale, l'on procédera au *dispatching* de leurs charges afin d'assembler, de faire le plein et de **finaliser la préparation de chacun des modules spatiaux qui s'élanceront à leur tour vers la Lune**. La station spatiale jouera le rôle de QG du *spaceport*. Comme à Roissy, mais en orbite, il rassemblera atelier, magasin, zone-vie, station service, centrale solaire, plage de départ. Un complexe indispensable à l'exploitation routinière de la Lune et, plus tard peut-être, d'autres corps célestes. Je vous laisse imaginer les innovations de tous genres, énergétiques, mécaniques, électroniques et aussi médicales, juridiques... qui sous-tendront cette nouvelle activité humaine. Et je vous laisse pronostiquer la date de son inauguration.

Mais direz-vous, **pourquoi vouloir exploiter la Lune et plus généralement l'Espace ?** Les enjeux deviendront-ils si vitaux pour l'homme et sa planète que l'on puisse croire que des événements de cette envergure auront lieu ? Les ressources de la Terre se réduisent, certaines se raréfient. Ses habitants sont plus nombreux et consomment plus. Sans dramatiser, l'on discerne les risques. Sans bien les évaluer, l'on doit s'en prémunir. Comment alors ignorer l'Univers, profusion d'énergie et de matière ? Comment, en premier lieu, négliger la Lune, notre Lune, compagne inoxydable de notre Terre, si heureusement oxygénée ? Quel couple complémentaire ! Disons de façon imagée qu'il est légitime de penser que ce qui est "Terre rare" sera complété un jour par "Lune abondante" pour une mise en commun économique. D'éventuels astéroïdes, dont une précieuse richesse serait décelée, compléteront la récolte. Petits, on les capturera, gros, on les détournera de leur trajectoire pour les amener sur une orbite propice à leur exploitation. Et puis, cette bienfaitrice et brûlante énergie de notre Soleil, comment ne pas croire qu'un jour lointain, l'on saura la diriger, la stocker et la distribuer vers la Terre pour corriger quelque peu nos disparités climatiques et améliorer notre équilibre global.

Mais direz-vous encore, **aurons-nous les moyens financiers pour mener à bien de telles ambitions ?** L'idée reçue d'une conquête spatiale onéreuse est contestable. Savez-vous que le budget de la NASA n'atteint pas 3% de celui de la Défense des Etats-Unis ? Savez-vous que le citoyen américain ne consacre que 40 dollars par an à l'Espace civil et l'europeen seulement 15 euros. Tant qu'il s'agit de curiosité scientifique ou de parade politique cette contribution est peut-être suffisante. En revanche, **si l'exploitation du système solaire devient absolument vitale pour la Terre et ses habitants**, l'on devra, l'on saura tous ensemble, dégager des crédits d'un tout autre ordre de grandeur. Sans retourner aux guerres mondiales, notons en passant que l'Irak a coûté quelques 500 dollars par an au contribuable américain.

Alors, si vous êtes un tant soit peu convaincus, **revenons un instant en rêve sur la Lune**. Nous l'avons quittée alors que les vaisseaux spatiaux voguaient vers elle avec leurs cargaisons depuis l'escale orbitale. A cette époque où l'exploitation est décidée, notre satellite naturel a fait l'objet depuis des décennies de nombreuses missions d'exploration. L'on commence à bien connaître ses cratères polaires, inestimables puits d'eau congelée, sa face cachée qui ignore les perturbations terrestres, les zones où son régolithe abonde en richesses énergétiques. **Comment en développer l'exploitation ?** Comment déployer les hommes et les robots qui, **ensemble**, auront en charge machines, usines, drones, communication et autres approvisionnements ? Comment organiser les transports entre les divers sites exploités, pôles, équateur, pics, déserts, crevasses ? Comment manager cet investissement économique qui regorgera d'innovations ?



Où seront les robots ? Sur le terrain, au travail ! Où seront les hommes ? Le moins souvent sur la Lune exposés aux radiations, sauf pour les implantations premières et les interventions obligatoires. Mais bien en capsule sur orbite lunaire et en téléprésence dans **une station centrale située au fameux point de Lagrange**, ce point-clé où l'attraction de la Terre et celle de la Lune s'équilibrent, épargnant ainsi la coûteuse énergie de

maintien à poste. Sur la Lune, l'on évitera de bâtir trop de *bunkers* médiévaux, l'on jouera la mobilité de chantier en habitacles-rovers, l'éclairage par des escadrilles de drones spatiaux et le transport à longue distance en péniches volantes. Ou, si vous le préférez, en tapis volants équipés, comme les drones d'ailleurs, de moteurs électriques à plasma, que nous appelons joliment moteurs plasmiques. Vous le savez, pas d'atmosphère sur la Lune, pas de portance, donc ni ailes, ni parachutes, pas de résistance à l'air, donc pas de profilages. Pas de fusées classiques et encore moins d'avions et de moteurs aérobies mais de l'autopropulsion chimique ou électrique. **Que de belles constructions composites volantes, propulsées, sustentées et pilotées à imaginer !** Quelle chance pour les Bordelais des siècles prochains. S'ils sont innovateurs et persévérants ! Que j'aimerais en faire partie...

Mais le temps tourne à tous égards et je n'ai pas parlé de **Mars** ! Est-ce grave ? J'ai peur que non. La Planète Rouge a terriblement vieilli. Elle est dans l'état où l'on ne voudrait pas que la Terre devienne. Carbonée, tourmentée, hostile... L'intérêt

scientifique est indéniable, l'intérêt d'une expédition humaine fort contestable. Laissons donc le rover-laboratoire Curiosity y travailler, poursuivons l'exploration robotique pour mieux comprendre l'origine du Monde, de la Terre et de la Vie, mais de grâce, patience pour l'Homme sur Mars. Si la conjoncture économique est favorable, si la sécurité de ce périple de près de trois ans paraît assurée, **il sera bien temps en 2057 d'y aller planter un drapeau** pour célébrer le centenaire de la conquête de l'Espace !

Terminons cette folle équipée par **le fantasme spatial absolu**. On l'a dit, l'Univers se dévoile, il devient lisible grâce aux télescopes spatiaux, l'américain Hubble, l'euro péen Kepler, et demain le géant James Webb, 10 000 fois plus sensible que les télescopes terrestres. Nombre de galaxies et de trous noirs sont découverts, un millier d'exoplanètes sont identifiées. Certaines semblent habitables, peut-être même humides. C'est fascinant, mais navré, si ce paradis de science-fiction nous attend, c'est à des années-lumières de chez nous. Même avec des fusées plus rapides, à énergie nucléaire comme le conseillait déjà Robert Esnault-Pelterie, même avec des modes de transport ultra-futuristes, la durée du voyage dépasse, et de beaucoup, l'espérance de vie humaine la meilleure.

Le facteur-temps semble incontournable sauf si... fantasme de toujours... les savants de la santé arrivent un jour à **mettre entre parenthèses le vieillissement biologique**, à conserver le voyageur en hibernation prolongée et à l'éveiller en forme ... et toujours jeune à son arrivée dans la galaxie lointaine. Une utopie bouleversante abordée avec humour par Louis de Funès dans le film burlesque Hibernatus, tourné par hasard en 1969, année lunaire. Et si, et si, l'utopie devenait une innovation de rupture décisive... mais de quel siècle ? de quel millénaire ? Toutefois, ne traînons pas trop car, selon les augures, il fera très très chaud à Montpellier dans 500 millions d'années avant que le soleil ne disparaisse dans 4 milliards...

En attendant, chers confrères, nous pouvons détacher notre ceinture et continuer de **vivre avec bonheur** sur la Terre, ce magnifique berceau, cette rare et fragile planète que, grâce aux fusées, nous connaissons mieux et maintenons en paix. Quittons nous confiants quant à l'avenir, à l'innovation de nos descendants, à la richesse de l'Univers et oui, pourquo i pas, à la sagesse de l'humanité.