



Récupération et réutilisation des Lanceurs Spatiaux

Pascal Pempie

Consultant

pascal.pempie@wanadoo.fr

Abstract : *La récupération en vue de réutiliser des éléments d'un lanceur spatial a fait l'objet de nombreuses tentatives.*

L'objectif affiché de la récupération et réutilisation est le gain économique hors celui-ci n'est pas documenté sérieusement.

Le seul système spatial qui fut opérationnel fut la navette US Shuttle dont le vol inaugural remonte au 12 avril et qui a été retiré du service en juillet 2011 après avoir effectué 135 vols.

Au cours de ses trois premières années d'exploitation, 24 satellites commerciaux furent ainsi lancés

Les surcouts liés à la récupération du Shuttle n'ont pas permis à celle-ci de poursuivre son exploitation ; commerciale.

La navette étant « vol » habité la sureté de fonctionnement était la clé de ses opérations de maintenance : Son plan de maintenance nécessitait environ 9 000 ingénieurs pour assurer le programme de remise en vol. On estimait en 2008, alors que le programme de la navette était en voie d'achèvement, que chaque vol de la navette spatiale américaine revenait à 1,5 milliard de \$

Hors depuis 2015 Space X avec son lanceur Falcon 9 a brillamment démontré la faisabilité technique de la récupération et de la réutilisation du corps central ou premier étage : 2017 avec 18 lancements réussis cette année-là et six des 23 Falcon 9 récupérés on réalisé un deuxième vol.

Cet article propose de présenter les différents défis et les solutions technologiques dédiées à la récupération d'un lanceur spatial. Recovery and reuse of space launchers



Abstract: *Recovery for reusing elements of a space launcher has been the subject of many attempts.*

The only space system that was operational was the US Shuttle Shuttle, whose inaugural flight dates back to April 12 and was removed from service in July 2011 after completing 135 flights.

During the first three years of operation, 24 commercial satellites were launched.

The stated goal of recovery and reuse is the economic gain off it is not seriously documented.

The over costs related to the recovery of the Shuttle did not allow it to continue the commercial exploitation of launches.

The shuttle being "flight" man rated operational safety was the key to its maintenance operations: Its maintenance plan required about 9,000 engineers to ensure the re-flight program. In 2008, while the shuttle program was nearing completion, it was estimated that each US Space Shuttle flight was worth \$ 1.5 billion.

Out since 2015 Space X with its Falcon 9 launcher has brilliantly demonstrated the technical feasibility of the recovery and reuse of the main body or first floor: 2017 with 18 successful launches that year and six of the 23 Falcon 9 recovered we realized a second flight.

This article proposes to present the different challenges and technological solutions dedicated to the recovery of a space launcher.

1. Introduction

La récupération en vue de réutiliser des éléments d'un lanceur spatial a fait l'objet de nombreuses tentatives: En 1998 [1] on pouvait compter 38 projets de « Reusable Launch vehicle »(RLV) dont 9 commerciaux ; 9 financés par les USA.

Aucun de ces concepts n'a survécu ; Space X avec Falcon [2] non cité en 98 est l'unique actuel lanceur réutilisable opérationnel.

De nombreuses configurations ont été « imaginées » : Le lanceur ailé dont la navette Shuttle est la référence ; quelques uns destinés au tourisme spatial ; [3] ;le lancement sous avion porteur : Launcher One [4]. Généralement c'est le premier étage : Falcon [2], ROSSIYANKA [5] ; voire même uniquement la baie de propulsion [6], [7] qui est récupérée. Malgré le challenge de récupérer l'étage



supérieur à vitesse orbitale de l'ordre de 9km/s nécessitant un moteur de désorbitation Kitsler [8] et L'Isro [Avatar ("Aerobic Vehicle for Transatmospheric Hypersonic Aerospace Transportation") [9] en ont fait l'étude.

La descente se fait généralement sous parachutes, voire parapente. Un concept original est la descente sous rotor en auto rotation [10] et la baie d'Atlas IIAS

La contrainte de réutilisation conduit à éviter l'amerrissage. Le choc d'atterrissage est amorti par un système d'airbag [Kitsler] ; par des structures déformables ou par des retro fusées

L'objectif affiché de la récupération et réutilisation est le gain économique bien que celui-ci ne soit pas documenté sérieusement et en toute transparence.

Le seul système spatial qui fut opérationnel fut la navette US Shuttle dont le vol inaugural remonte au 12 avril et qui a été retiré du service en juillet 2011 après avoir effectué 135 vols.

Au cours des trois premières années d'exploitation, 24 satellites commerciaux sont ainsi lancés

La navette étant « vol » habité « man rated » la sûreté de fonctionnement était la clé de ses opérations de maintenance : Son plan de maintenance nécessitait environ 9 000 ingénieurs pour assurer le programme de remise en vol. On estimait en 2008, alors que le programme en voie d'achèvement, que chaque vol de la navette spatiale américaine revenait à 1,5 milliard de \$

Hors depuis 2015 Space X avec son lanceur Falcon 9 a brillamment démontré la faisabilité technique de la récupération et de la réutilisation du corps central ou premier étage : 2017 avec 18 lancements réussis cette année-là et six des 23 Falcon 9 récupérés on réalisé un deuxième vol.

Cet article propose de présenter les différents défis et solutions technologiques dédiés à la récupération d'un lanceur spatial.

Il n'est pas traité l'utilisation de lanceurs ailés type Navette, X37b

2 -Aspect Economique

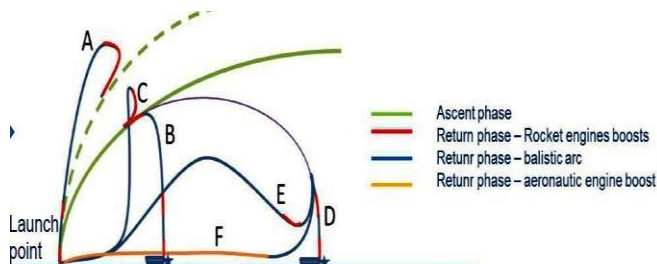
L'Economie apportée au cout de lancement en cas de réutilisation fait l'objet de nombreuses études [11] ; [12] ; [13] ; [14]

La quantité de variables intervenant dans l'estimation économique et leurs propres incertitudes: cout du premier article, cout de maintenance, fiabilité (la perte d'un véhicule est une perte du capital), nombre de véhicules dans la flotte ; cout de l'investissement initial ; de son taux d'escompte et surtout la cadence de lancement et le marché accessible rend le résultat très incertain. Par ailleurs il convient de souligner que le cout de lancement est de quelques % du cout total du système : satellite lui-même, couts d'exploitation lors de sa vie commerciale et que l'avantage commercial d'un lanceur est surtout sa fiabilité et sa disponibilité

La Nasa [15] a tenté de déterminer les couts du Falcon 9 par son logiciel Nafcom [16] modèle de couts représentatif de ses usages managériaux et de ses principaux contractants .Il est remarquable de remarquer que les écarts sont dus à la structure industrielle verticale de Space X : une usine, peu de fournisseur ou sous contractants

2- Trajectoires

Les différentes trajectoires possibles sont les suivantes [17].



Il est très important de noter que toutes ces trajectoires

Demandent une propulsion ré-allumable en vol et à poussée variable, pour l'atterrissage, en douceur $V < 1\text{m/s}$) La trajectoire « Toss-back » du Falcon 9 nécessite 6 allumages

- Des réserves d'ergols supplémentaires au détriment de la masse « charge utile »
- La maîtrise des flux aérothermiques : la rentrée se faisant en haut supersonique Mach de l'ordre de 6

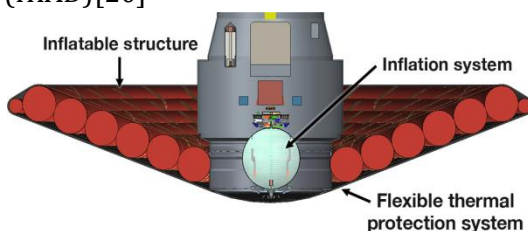
Deux options : revenir sur le site de lancement (Toss-Back) ou atterrir après une phase balistique au loin.

En vue de la réutilisation on évitera la retombée en mer.

3- Défis Technologiques et solutions Technologiques

En suivant la chronologie du vol après séparation de la partie à récupérer ; étage ou « simplement » la baie de propulsion « Comme la propose ULA [18] les phases suivantes sont à examiner : [19]

- **Ré Entrée** : Le Mach est de l'ordre de 6 d'où la nécessité de protection thermiques et d'un contrôle d'attitude.
- **Freinage**. Avant de pouvoir déployer ; si solution retenue est une chaine parachutale ; nécessité de freiner .Ce freinage en hypersonique pourrait s'effectuer à l'aide d'un Hypersonic Inflatable Aerodynamic Decelerator (HIAD)[20]



- **Descente**. La descente peut se faire sous parachutes : Technologie mature [21] utilisée pour la récupération des propulseurs d'appoint de la navette [22]. La

masse de chaque SRB était de 91 t et le diamètre du parachute de 42m pour une vitesse d'impact de 23m/s

L'ouverture de la chaîne parachutale peut s'effectuer à partir de Mach 2.5 en déployant en premier un Supersonic Hemisflo Stabilization Parachute [23]. Ce concept fut retenu par Kitsler [24]

Ce type de parachute supersonique a fait ses preuves sur de nombreuses missions planétaires pour la dépose de sonde par exemple lors de la mission Viking sur Mars [25]

La descente peut aussi se réaliser sous parapente éventuellement « intelligent » c'est-à-dire capable de se diriger [26]. Cette technologie est utilisée par les armées pour délivrer du matériel : Joint Precision Airdrop System [27]

La capsule X38 d'une masse de 6.8 t s'est posée à 2.4m/s soutenue par un parapente de 700m² [28]



• Atterrissage

Les principales contraintes pour l'atterrissage de la partie récupérée sensée être réutilisée sont la vitesse d'impact (<1m/s) et la précision du point de « chute » : quelques dizaine de mètres.

D'où l'intérêt de la modularité de la poussée soit par extinction d'une partie des moteurs de la baie multi moteurs soit, par un réglage, opération délicate, de la poussée.

Cette méthode est complétée par Space X par l'emploi de « Fins » [29]



Une technique qui permet le retour au point choisi est la récupération au cours de la descente soit par avion soit par hélicoptère. Cette technique est utilisée pour récupérer des objets « sensibles » :

Dés les années 60 les films des satellites Corona de reconnaissance étaient captés en vol par un avion

JC-130 Hercules & HC-130[21]



Naturellement cette technique délicate est contrainte par la masse à captée : l'hélicoptère le plus puissant est le Mig 26 capable de 14t.

Cette technique est envisagée [18] pour récupérer en vue de sa réutilisation, à une altitude 1500m, la baie propulsive d'Atlas 5 (10t), partie considérée comme la plus couteuse : 65% du cout de l'étage.

• **Conclusion**

Outre les gains économiques très incertains la récupération en vue de la réutilisation impose des technologies non matures en Europe et des suppléments de



masse initiale (GLOW) impactant la motorisation et la masse de la charge utile (payload mass)

Bibliographie

[1] Associate Administrator for Commercial Space Transportation (AST)
REUSABLE LAUNCH VEHICLE PROGRAMS AND CONCEPTS JANUARY 1998

[2] Aaron Dinardi. OPERATIONAL STATUS OF THE SPACEX FALCON 1 AND FALCON 9 LAUNCH VEHICLES IAC-10.D2.1.4

[3] Christophe Chavagnac .The Suborbital Space Tourism Project of EADS Astrium
AIAA 2009-5516

[4] VIRGIN. ORBITLAUNCHER ONE SERVICE GUIDE V1.0

[5] Miass Makeyev Center developing Rossiyanka heavy-lift launch vehicle. Russia
& CIS Business and Financial Newswire, 2014 Jan 14

[6] Mohamed M. Launch Vehicle Recovery and Reuse AIAA Space_2015

[7] Mari Gravlee and all Partial Rocket Reuse Using Mid-Air Recovery AIAA 2008-7874

[8] Robert E. Meyerson .Development Status of the Kistler Aerospace K-1 Reusable Launch Vehicle. Space 98

[9] "*India Eyes New Spaceplane Concept*". Space Daily. New Delhi. August 8 2001

[10] Gary Hudson, Rotary Rocket Co., Mojave, CA Roton development and flight test program Aiaa 98-5258

[11] D.E Koelle.R. Janovsky Development and transportation costs of space launch systems DGLR FAS 4.1, 2007

[12] Greg J. Gstattenbauer, Second Lieutenant, USAF COST COMPARISON OF EXPENDABLE, HYBRID, AND REUSABLE LAUNCH VEHICLES AFIT/GSS/ENY/06-M06



- [13] Pascal Pempie REUSABLE EXPENDABLE LAUNCHER COST ANALYSIS AIAA 2000-3738
- [14] D. B. KANIPE Estimating the Cost of Space Systems
- [15] NASA Associate Deputy Administrator for Policy Falcon 9 Launch Vehicle NAFCOM Cost Estimates? August 2011
- [16] NASA Air Force Cost Model (NAFCOM): Capabilities and Results 2011 JANNAF MSS/LPS/SPS Joint Meeting, Huntsville AL
- [17] J-M BAHU FUTURE LAUNCHER SYSTEM STUDIES IAC-16, D2, 4,6
- [18] Mari Gravlee*, Bernard Kutter†, Frank Ziegler‡, Brooke Mosley Partial Rocket Reuse Using Mid-Air Recovery AIAA 2008-7874
- [19] M. Adler and all. Entry, Descent and Landing Systems NASA Road map nov. 2010
- [20] Stephen J. Hughes and all. Hypersonic Inflatable Aerodynamic Decelerator (HIAD) AIAA 2011-2524
- [21] Irvin Industry. RECOVERY SYSTEMS DESIGN GUIDE AFFDL- TR-78-151
- [22] Howard S. Kanner OF1 and all. Solid Rocket Booster (SRB) - Evolution and Lessons Learned During the Shuttle Program AIAA
- [23] GOODYEAR AEROSPACE .STATE-OF- THE-ART STUDY FOR HIGH-SPEED DECELERATION AND STABILIZATION DEVICES GER- 12616 10 September 1966
- [24] Edward J. Fallon and all LANDING SYSTEM DESIGN SUMMARY OF THE K-1 REUSABLE LAUNCH VEHICLE AIAA-99-1720
- [25] Juan R. Cruz .Aerodynamic Decelerators for Planetary Exploration: Past, Present, and Future AIAA
- [26] G. Petry, R. Behr, L. Tschardtke The Parafoil Technology Demonstration (PTD) Project: Lessons Learned and Future. Visions AIAA 994755
- [27] Storm Dunker* and Jean-Christophe Berland Modularity Concepts for a 30,000 lb Capacity Ram-Air Parachute Aiaa-2007-2515
- [28] Jenny Stein and all Nasa . An Overview of the Guided Parafoil System Derived from X-38 Experience. Aiaa
- [29] Salman Munawar ANALYSIS OF GRID FINS AS EFFICIENT CONTROL SURFACE IN COMPARISON TO CONVENTIONAL PLANAR FINS 27TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCES