

# Comment la propulsion hybride peut participer à retrouver une souveraineté française et européenne pour l'accès à l'espace

Par Sylvain BATAILLARD

Co-fondateur et directeur opérationnel de HyPrSpace

Depuis le début de la course à l'espace, nous utilisons la même technologie de propulsion : la propulsion liquide. La majorité des acteurs du spatial font la course sur les mêmes rails... Tandis que certains ont décidé de construire une nouvelle voie : la propulsion hybride. La promesse est simple, une réduction de 75 % des coûts de lancement, qui permettrait de rattraper même les plus grands. Mais il existe un verrou technologique qui empêche à cette technologie d'être utilisée sur de gros véhicules. HyPrSpace, *start-up* bordelaise, pense avoir trouvé le moyen de contourner ce verrou, et d'accéder au graal de la propulsion.

## INTRODUCTION

Depuis la conclusion du programme Ariane 5, la France se retrouve dépourvue de moyens autonomes pour lancer ses satellites. L'une des rares alternatives qui s'offrent à nous est de recourir aux services du principal concurrent d'Ariane Group : Space X. Cette situation, qui a réellement commencé depuis le dernier vol de notre fleuron spatial français, résulte d'un processus complexe ayant pris racine il y a 12 ans, avec l'émergence de Space X. Le virage vers le *New Space* a été largement sous-estimé, voire négligé par l'Europe. L'approche américaine s'est révélée plus efficace, plus rapide, et par conséquent, plus compétitive que notre modèle hérité de l'après-guerre. Cette réalité nous place aujourd'hui dans une position des plus inconfortables, où notre accès à l'orbite dépend désormais principalement des Américains.

Le retard s'étant trop accumulé, notamment face au géant Space X d'Elon Musk, nous nous trouvons face à une course déséquilibrée où les Américains jouissent d'une avance considérable. Mais la France n'a pas dit son dernier mot, et une des issues qui s'offrent à nous est d'investir nos ressources dans de l'innovation de rupture.

Cet article présente les technologies de propulsion existantes en matière de lanceurs, et établit une comparaison avec la technologie développée par HyPrSpace, ayant pour objectif de diminuer drastiquement les coûts liés à la propulsion, qui sont le principal facteur du prix actuel d'accès à l'espace, et qui a le potentiel d'apporter une réponse à la demande grandissante de la prochaine décennie.

## LES TECHNOLOGIES EXISTANTES

En premier, la technologie de propulsion « bi-liquide ». Elle consiste en un mélange de carburant liquide et de comburant liquide, ce qui est très simple à première vue, mais

nécessite en réalité des composants très complexes, comme les turbopompes<sup>1</sup>, pour fonctionner. Cette technologie a permis à l'humanité d'accéder à l'espace depuis les premiers succès de la course aux étoiles commencée pendant la guerre froide. Cependant, elle possède un inconvénient majeur : son coût de production, qui la rend difficilement rentable. Il est dû notamment à la complexité des composants nécessaires, tant lors de la conception que de la production, et nécessite souvent l'internalisation de nombreux processus de fabrication, pour parvenir difficilement à une viabilité économique précaire.

Une autre méthode de propulsion est la propulsion solide, que l'on retrouve sur les missiles principalement, mais aussi certains lanceurs comme, par exemple, sur les boosters d'Ariane 5. Une fois le propergol allumé, il est impossible de l'éteindre. Beaucoup plus simple et beaucoup plus fiable que la propulsion liquide, cette technologie présente néanmoins d'autres inconvénients : la poussée ne peut être ni modulée ni arrêtée, et implique des règles de sécurité drastiques en tant que matériau pyrotechnique.

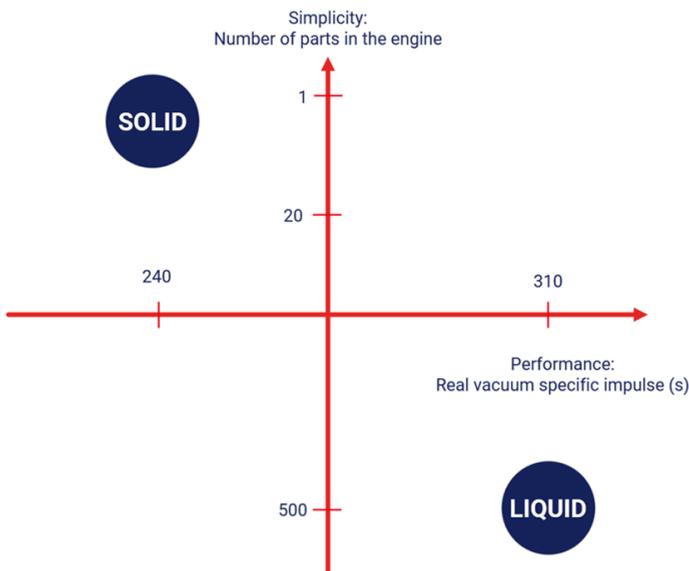


Figure 1 : Schéma comparatif des différentes technologies de propulsion en fonction de la simplicité et de la performance.

Il existe également une troisième technologie qui est une hybridation des deux précédentes.

## LA PROPULSION HYBRIDE : UN RÊVE INATTEIGNABLE ?

Cette technologie de propulsion, connue depuis plus de 50 ans, regroupe tous les avantages de la propulsion bi-liquide et de la propulsion solide, sans s'encombrer de leurs inconvénients. Bien qu'apparemment parfaite d'un point de vue économique, écologique,

---

<sup>1</sup> Une turbopompe est en astronautique une pompe à comburant ou à combustible entraînée par une turbine tournant à plusieurs milliers de tours par minute, qui met sous pression les ergols (carburant et comburant) avant leur injection dans la chambre de combustion d'un moteur-fusée à ergols liquides. Cet élément du moteur joue un rôle essentiel dans la performance du moteur-fusée, car la poussée de celui-ci dépend de la pression des ergols arrivant dans la chambre de combustion.

et réglementaire, cette technologie n'est pas utilisée sur des véhicules orbitaux. Ceci est dû à un verrou technologique dont souffre cette technologie jusqu'à maintenant.

L'hybridation réside dans le mélange entre un carburant solide et un comburant liquide. Dans l'état de l'art actuel l'oxydant est stocké dans un réservoir et est dans une chambre de combustion qui contient le bloc de carburant à l'état solide, bloc qui va se pyrolyser et alimenter la combustion. Les produits de combustions sont ensuite accélérés à travers la tuyère, afin de propulser le véhicule. Pendant la phase de tir, le carburant est consommé petit à petit vers l'extérieur, augmentant le volume de la chambre de combustion. Ceci aura pour conséquence d'augmenter la distance entre la flamme et le bloc carburant, diminuant ainsi la quantité de carburant vaporisé, et donc la quantité de masse réactive à éjecter à travers la tuyère. Aussi le volume interne de la chambre de combustion devient de plus en plus grand, et les structures turbulentes internes ne permettent plus de correctement mélanger comburant et carburant, ce qui amène à des imbrûlés. Ces deux aspects diminuent très fortement la performance propulsive qu'il est possible d'obtenir avec un moteur à propulsion hybride.

HyPrSpace a développé une architecture innovante permettant de régler ces deux effets et d'obtenir une performance propulsive optimale tout en gardant les avantages de la propulsion hybride : un moteur simple et peu onéreux, permettant de moduler la poussée, d'éteindre et de rallumer le moteur, tout en utilisant un carburant solide issue de la filière du recyclage.

Cette architecture est constituée d'une chambre de combustion toroïdale comprise entre deux blocs carburants concentriques, avec le réservoir d'oxydant en son centre.

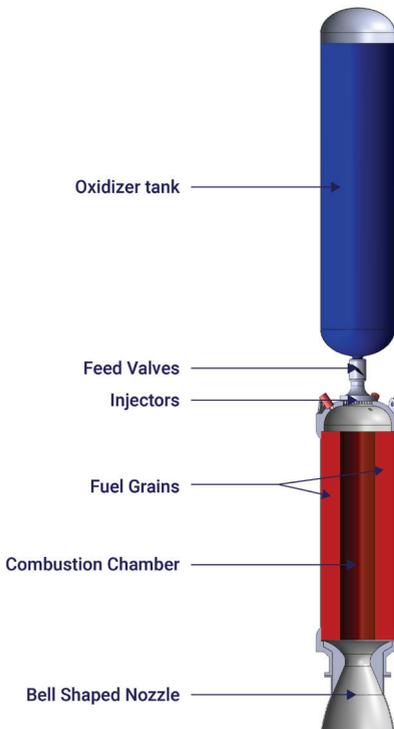


Figure 2 : Schéma d'une architecture de moteur hybride classique.

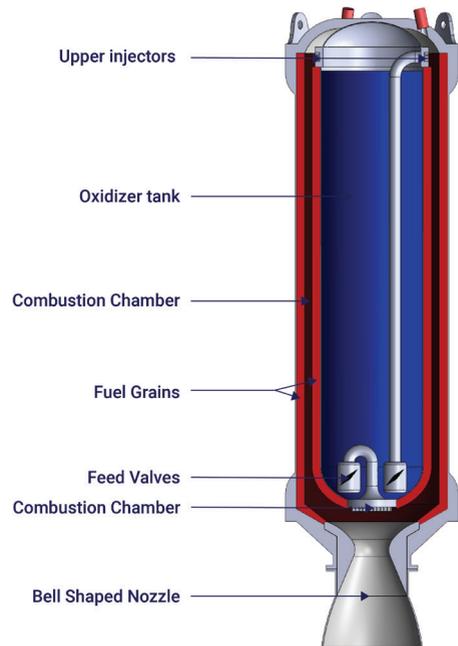


Figure 3 : Schéma de l'architecture de moteur hybride brevetée par HyPrSpace.

Quelle que soit la taille du moteur, l'espace entre les deux blocs carburants est très faible, forçant mécaniquement la flamme à rester très proche des blocs, et de vaporiser beaucoup de carburant, ce qui règle le premier problème que rencontre la propulsion hybride en architecture standard. Aussi, le volume interne de la chambre de combustion est beaucoup plus faible, ce qui permet un mélange optimal des réactifs, réglant alors le second problème de la propulsion hybride.

Ces deux aspects permettent d'obtenir une combustion optimale et efficace même pour des propulseurs de très grande taille, comme ceux utilisés pour un véhicule orbital, et ce pour une fraction du coût d'un moteur aux performances équivalentes en propulsion liquide.

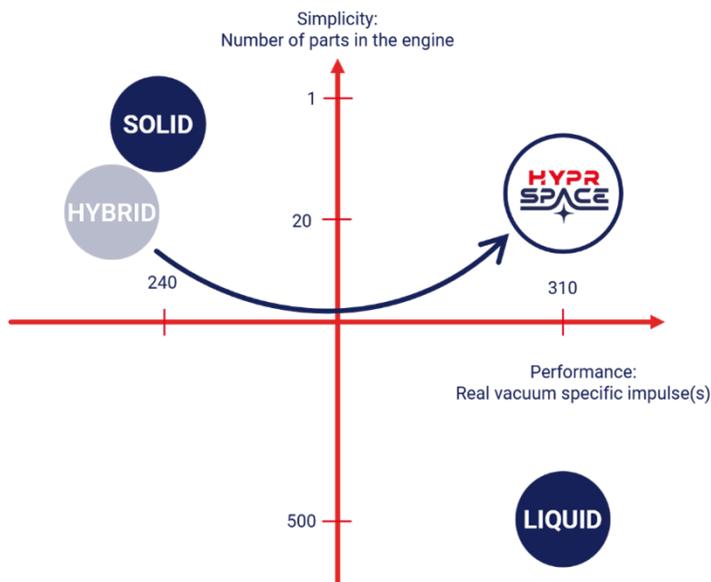


Figure 4 : Graphique représentant l'impact de l'innovation d'HyPrSpace sur les performances de la propulsion hybride.

## QUEL IMPACT SUR L'AVENIR DU SPATIAL ?

L'introduction de la propulsion hybride représente un changement majeur sur le marché des lanceurs et micro-lanceurs spatiaux. Constituant la majorité du coût total d'une fusée, une technologie de propulsion plus économique permettra de réduire considérablement les coûts (de plus de 50 %) et donc d'accroître la rentabilité, là où les lanceurs bi-liquides, notamment les micro-lanceurs, sont limités. Un autre impact notable est la disponibilité accrue des lanceurs hybrides. Cette technologie, à la fois fiable et simple, permet une mise en œuvre rapide et facilite des lancements plus dynamiques, répondant ainsi à des besoins très spécifiques, notamment dans le domaine de la défense.

Aussi, le développement d'une nouvelle brique technologique propulsive permet d'être utilisée sur d'autres types de véhicules que les micro-lanceurs : lanceurs plus lourds, véhicules hypersoniques atmosphériques et extra-atmosphériques ou encore plateformes de mobilité en orbite.



Figure 5 : Illustration du lanceur Orbital-Baguette 1 (OB-1).