

Appel à idées pour l'élaboration du plan R&T « Transport Spatial » 2022

SOMMAIRE

1. Le cadre de l'appel à Idées R&T « Transport Spatial » du CNES...	2
1.1. La logique de préparation du futur des systèmes de lancement.....	2
1.2. La R&T « Transport Spatial »	3
2. Nos axes d'innovation prioritaires.....	4
2.1. Maîtrise de la propulsion LOX-Méthane	4
2.2. Réutilisation du 1er étage	5
2.3. Sauvegarde autonome	6
2.4. Simplification du système de lancement : de la conception à l'exploitation	6
2.5. Réduction de l'empreinte carbone	6
2.6. Étages à indice constructif performant.....	7
2.7. Réutilisation de l'étage supérieur.....	7
2.8. Prochaines ruptures.....	8
3. Le cheminement d'une idée après cet appel.....	9
4. Nos critères de sélection.....	10
5. Comment nous faire parvenir vos idées ?	11
6. autres appels pour les projets futurs « Transport Spatial »	12
7. Annexes	13
7.1. Annexe 1 – format de fiche	13
7.2. Annexe 2 : Échelle de Maturation des Technologies	16
7.3. Annexe 3 :	17

1. LE CADRE DE L'APPEL A IDEES R&T « TRANSPORT SPATIAL » DU CNES

La **Direction des Lanceurs du CNES** pilote un programme national de préparation du futur, en complément ou en anticipation des actions engagées au niveau Européen. Ce programme national vise à appréhender les enjeux de demain (la réduction des coûts de lancement, les véhicules réutilisables, la réduction de l'impact environnemental...) et les ruptures technologiques à venir.

1.1. La logique de préparation du futur des systèmes de lancement

Les activités de préparation du futur se structurent autour d'une démarche à 3 niveaux, conduits en parallèle :

1. Des **analyses de type veille, prospective et marché de lancement**, permettant de cerner les enjeux, objectifs et contextes pour les systèmes de lancement futurs.
2. Des **axes d'innovation prioritaires**, définis autour de thématiques techniques à moyen ou long terme pour répondre à ces enjeux.
3. Pour chaque axe d'innovation prioritaire, un ensemble **d'actions**, soit de faisabilité de concept, soit de maturation technologique, en cohérence avec les futurs systèmes de lancement identifiés qui répondraient aux évolutions du marché de lancement identifiées à l'étape 1.

Cette démarche est illustrée ci-dessous.

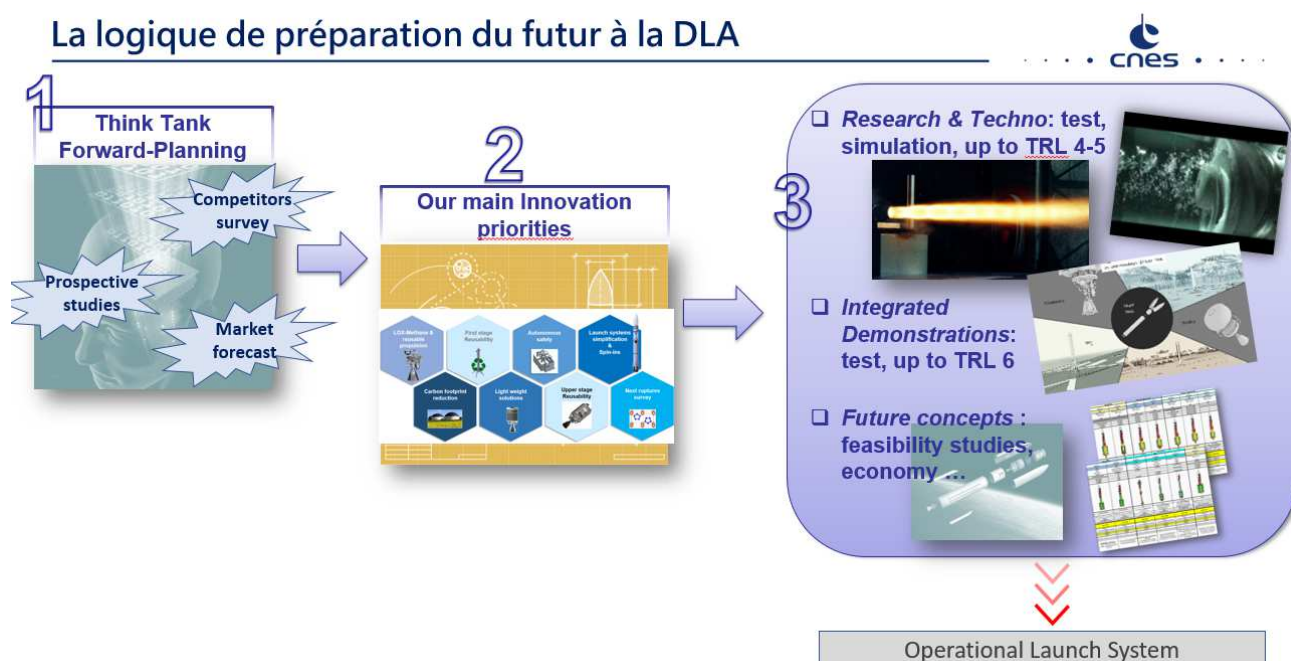


Figure 1 - Organisation de la préparation du futur à la DLA

A cette démarche s'ajoute, pour l'action R&T, un volet dit de « compréhension des phénomènes complexes », qui rassemble les outils, simulations, essais, permettant de mieux appréhender les problèmes techniques des systèmes de lancements en opération ou en développement.

1.2. La R&T « Transport Spatial »

Dans cette logique, **les activités R&T** ont vocation à

- Mûrir jusqu'à TRL 4-5 les ruptures technologiques répondant aux axes d'innovation prioritaires afin de préparer les évolutions des lanceurs de demain
- Contribuer à la compréhension des phénomènes physiques complexes tenant compte de l'expérience des systèmes de lancement en exploitation ou en développement, en développant les outils numériques et méthodologies nécessaires pour les appréhender et préparer les lanceurs futurs

Ces activités font l'objet de roadmaps technologiques et de démonstration élaborées par la Direction des Lanceurs du CNES, ou en partenariat.

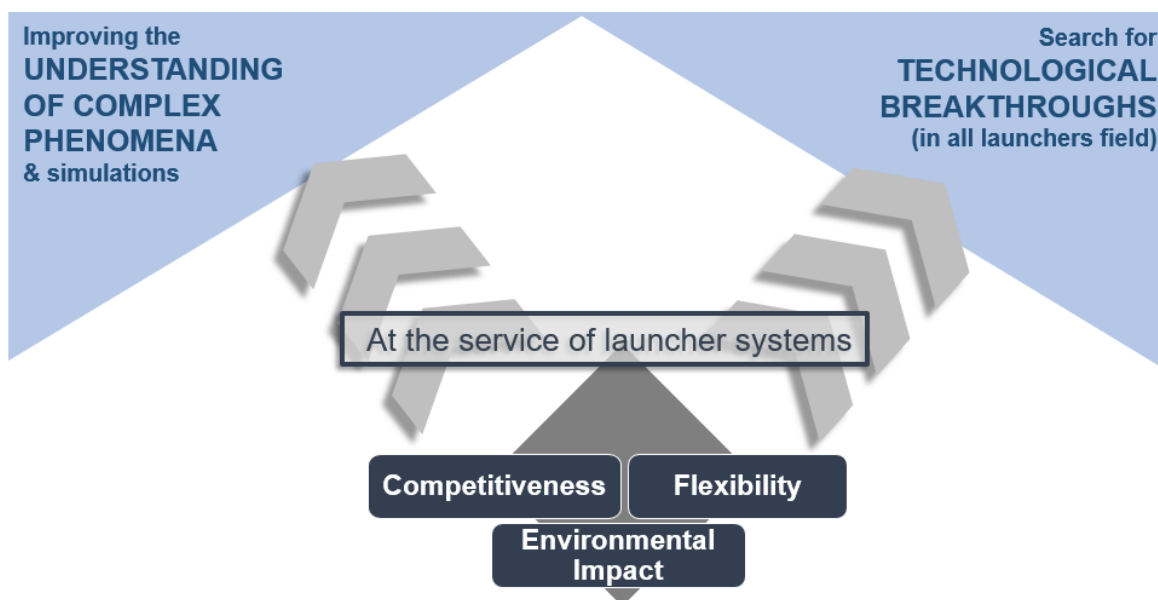


Figure 2 - macro objectifs de la R&T lanceurs

2. NOS AXES D'INNOVATION PRIORITAIRES

Les 8 axes d'innovation prioritaires actuellement retenus par la Direction des Lanceurs du CNES sont détaillés ci-dessous :

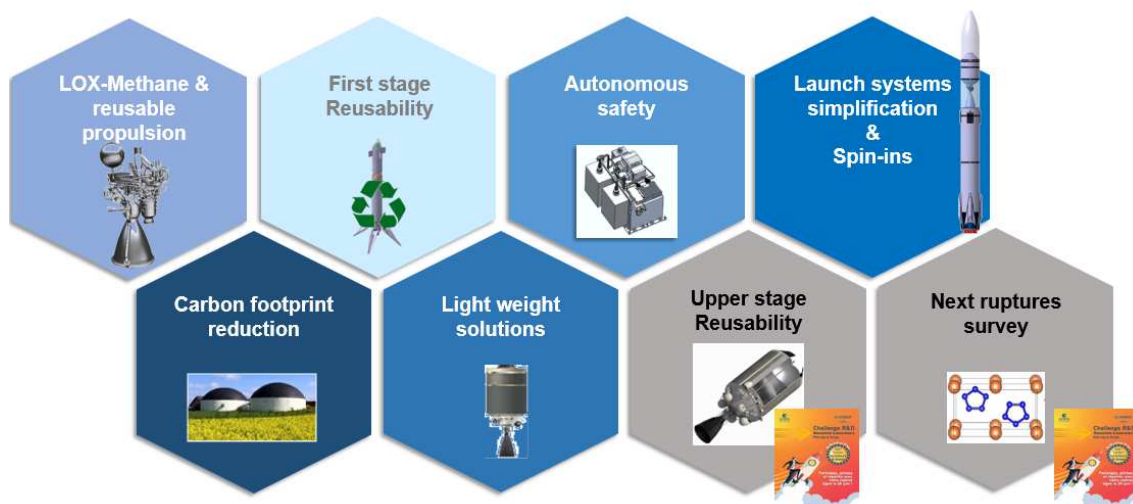


Figure 3- Les axes d'innovation prioritaires du CNES DLA

2.1. Maîtrise de la propulsion LOX-Méthane

La propulsion LOX-Méthane est aujourd'hui la priorité pour la préparation des concepts de lanceur futur, en raison de son potentiel de réduction des coûts (notamment via une mise en œuvre simplifiée grâce à une température de liquéfaction moins basse que l'hydrogène), et de sa pertinence avec les objectifs de réutilisation des étages, sa densité permettant des étages plus compacts et donc plus manœuvrables dans les phases de retour.

Cet axe d'innovation se matérialise autour du démonstrateur de moteur ultra-bas coût PROMETHEUS.

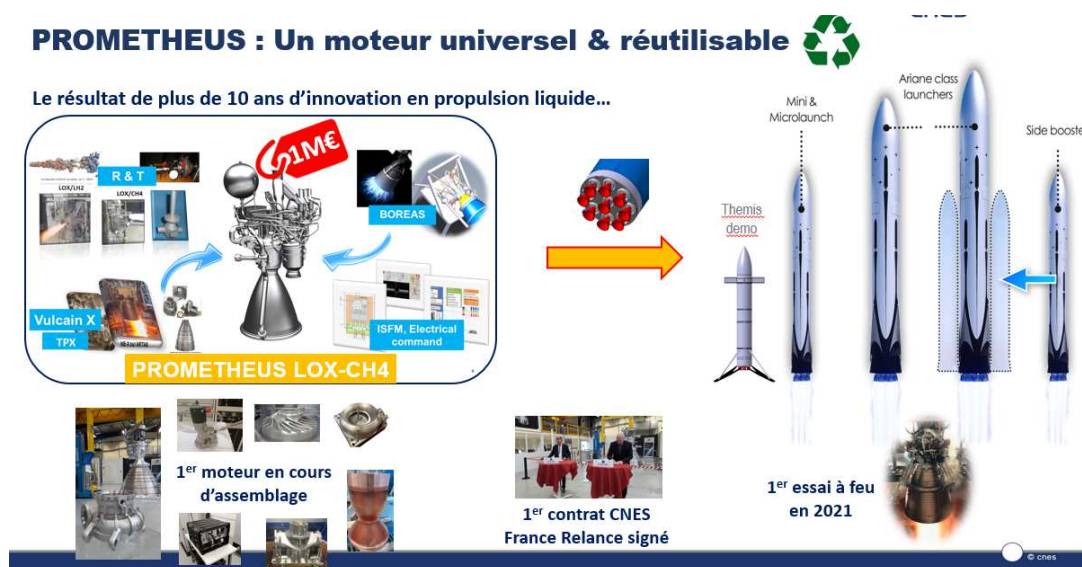


Figure 4- La démonstration PROMETHEUS

Les points techniques à mûrifier sont notamment la combustion LOX-Méthane, l'influence des impuretés en combustion mais aussi dans les réservoirs, le degré de simplification de la conception et de mise en œuvre par rapport au LH2, sa capacité pour la réutilisation des moteurs et étages (notamment aspect sécurité au retour).

2.2. Réutilisation du 1er étage

Les lanceurs Européens sont aujourd'hui totalement consommables. La réutilisation des étages de lanceurs permet de gagner en flexibilité d'exploitation tout en réduisant les coûts de lancement.

On se focalise dans cet axe d'innovation sur la réutilisation du 1^{er} étage, dont l'énergie cinétique au lancement est plus faible et qu'il est donc plus facile de faire revenir (sur terre ou sur barge). Le mode d'atterrissage choisi est celui par freinage rétro-propulsif et atterrissage vertical qui permet de minimiser les adaptations par rapport à un lanceur consommable traditionnel.

Cette réutilisation comporte 2 enjeux technico-économiques : la récupération de l'étage en vol, et sa revalidation pour le vol suivant et les moyens sol associés.

Cet axe d'innovation se matérialise sur une suite de démonstrateurs à échelle incrémentale : FROG, CALLISTO puis THEMIS (voir ci-dessous).

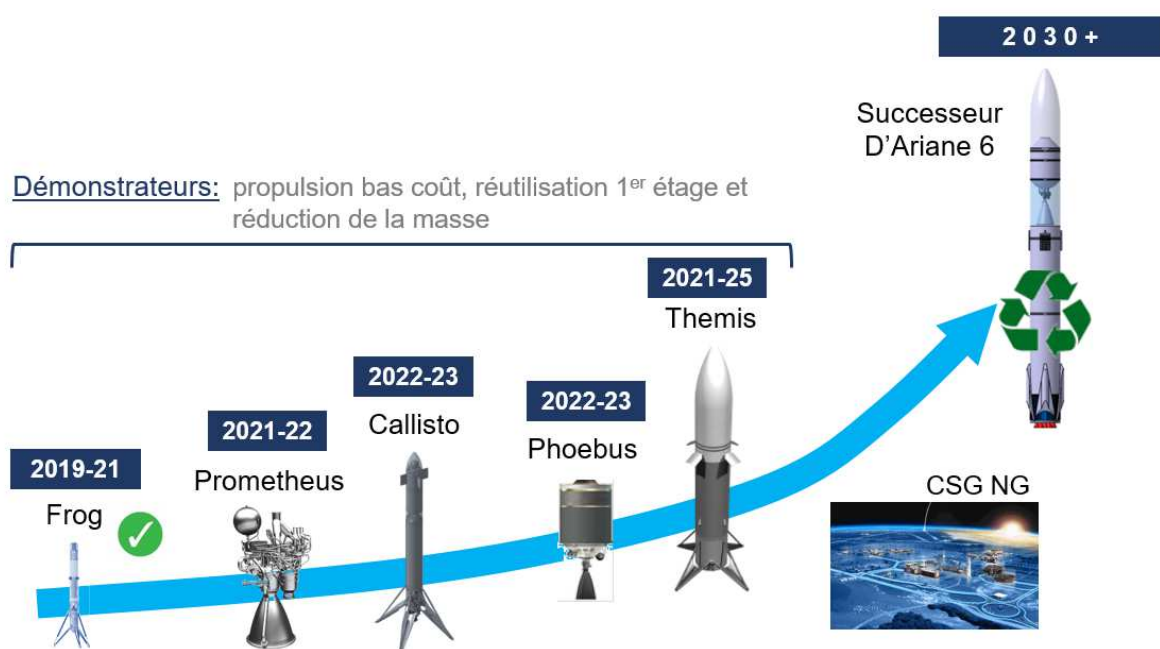


Figure 5- La logique incrémentale de démonstration pour la réutilisation du premier étage

Cet axe couvre des domaines techniques très divers tels que :

- Pour la récupération : Système de conduite de vol, système électrique et logiciel (précision atterrissage, contraintes de cycle de vie lié à l'atterrissage, stockage d'énergie électrique), dynamique et aérodynamique (limiter les environnements induits du décollage à la phase de retour (yc atterrissage)...), Propulsion (durée de vie moteur, rallumage facile et fiable, régulation sur une grande plage de fonctionnement), maîtrise du comportement des ergols, structures (Protections thermiques réutilisables, amortissement à l'atterrissage), sécurité des opérations sol post-atterrissage (interfaces reconnectables, robots, automatisation)
- Pour la revalidation : "Health Monitoring System" (capteurs structures, propulsion, câblage ... et software / IA associé), opérations de "Maintenance Repair and Overhaul"

2.3. Sauvegarde autonome

L'arrêt de mission en cas de comportement défaillant du lanceur en vol est actuellement fait manuellement par le sol pour les lanceurs Européens. L'arrêt de mission décidé de manière autonome à bord permettrait un gain de robustesse (précision, temps de réaction), de disponibilité (moyens sol au lancement) et d'efficacité (coût global, cadence de lancement, flexibilité vis-à-vis de divers concepts et missions de lanceur). Le CNES prépare de tels systèmes pour les futurs lanceurs européens.

Cet axe d'innovation se matérialise autour du démonstrateur KASSAV 2 (Kit Autonome comme Solution de SAuvegarde en Vol) qui consiste à automatiser la sauvegarde en intégrant dans le lanceur les fonctions de localisation, de diagnostic et de neutralisation. Concrètement, en cas d'anomalie détectée, c'est l'algorithme à bord du lanceur qui déclenche la neutralisation de manière autonome. « KASSAV 2 reposera sur des technologies numériques éprouvées et des systèmes de localisation déjà couramment utilisés dans les transports terrestres, aériens, ...

Les domaines techniques d'innovation sont notamment les moyens de localisation (très fiables et très précis, type gyroscope miniature, GNSS), l'architecture du système (capteur, redondance, etc.), la mise au point de la fonction de décision (principalement algorithme et logiciel embarqué, par exemple IA / algorithme d'exploitation de données sol/vol), la smart pyrotechnie.

2.4. Simplification du système de lancement : de la conception à l'exploitation

L'objectif de cet axe est la simplification des concepts et des processus des systèmes de lancement, incluant la base, pour en améliorer le coût, la flexibilité et la disponibilité.

En termes de conception, la standardisation des composants et l'utilisation de « spin-in's » venant d'autres secteurs industriels présentent un fort potentiel de réduction des coûts. A titre d'exemple, la standardisation est illustrée par l'utilisation d'un seul type de moteur universel (Prometheus) sur l'étage inférieur, comme sur l'étage supérieur du lanceur.

En termes de processus, les technologies et concepts permettant la simplification, la flexibilité, et l'amélioration de la disponibilité, en développement comme en exploitation, sont recherchés, par exemple via l'automatisation ou la digitalisation des opérations.

Les domaines techniques d'innovation sont notamment l'instrumentation innovante embarquée ou pour les essais au sol (réseau de capteurs sans fil, capteurs faible consommation (energy harvesting), moyens vidéo embarqués, traitement d'images pour la mesure physique, drones), la télécommunication innovante véhicule-sol (antennes d'émission/réception basse consommation et faible volume, télémessure par satellites), les robots ou l'automatisation des opérations de mise en œuvre, les moyens météo innovants, le prototypage rapide logiciel et matériel.

2.5. Réduction de l'empreinte carbone

Cet axe vise à l'identification et à la maturation des technologies et concepts qui permettront la réduction de l'impact environnemental des lanceurs (suivi au travers de son empreinte carbone), depuis leur conception jusqu'à leur exploitation puis leur démantèlement. Des « Analyses de Cycle de Vie » sont réalisées et permettent de quantifier les progrès réalisés dans cette thématique. À titre d'exemple, la production de biométhane en Guyane est un des enjeux pour l'écoconception en cours d'évaluation.

2.6. Étages à indice constructif performant

La recherche d'un bon indice constructif lanceur est un élément clé, à la fois de bonne performance lanceur et de maîtrise du coût de lancement. **Il est d'autant plus crucial pour les concepts de lanceur futur dont la référence prioritaire est de type bi-étage bi-liquide.** On estime qu'il faut viser à la prochaine génération Ariane un gain d'un facteur ~ 2 par rapport à la génération existante, cette cible étant crédibilisée par l'état de l'art mondial.

Cet axe d'innovation couvre à la fois les structures / matériaux (gain de masse ; matériaux structuraux multifonctionnels), les procédés de fabrication, assemblage et contrôle innovants, la conception optimisée, les architectures étages optimisées, ou encore les règles de dimensionnement.

2.7. Réutilisation de l'étage supérieur

Cet axe d'innovation concerne la réutilisation de l'étage supérieur à l'horizon de la décennie 2030-2040, et intègre à la fois la notion de retour sur Terre en vue d'une nouvelle mission de lancement mais également la notion d'utilisation en orbite après le largage des charges utiles qui reste l'objectif principal. Il peut donc être analysé sous différents angles :

- Définition de nouvelles missions ou fonctions de l'étage supérieur
- Définition de concepts, d'architectures de l'étage supérieur permettant de répondre à ces nouvelles missions ou fonctions
- Maturation de technologies innovantes permettant de réaliser ces nouvelles missions ou fonctions de l'étage supérieur.

En complément, une liste de nouvelles missions ou fonctions d'un étage supérieur pouvant répondre à cet axe de travail est donnée à titre indicatif ici :

- ✓ Approche géo-centrée : récupération avant réutilisation
 - o Retour sur Terre et récupération au sol
 - o Remise en conditions d'aptitude au vol et réutilisation
- ✓ Approche spatio-centrée : réutilisation en orbite
 - o Transferts d'orbite
 - o Maintenance d'un système orbital (satellite, station...) : réparation, refuelling
 - o Récupération d'un objet en orbite pour retour sur Terre
 - o Capture et désorbitation de débris spatiaux
 - o Approvisionnement et réalisation de structures spatiales
 - o Protection (radiation, thermique, débris) d'un système orbital

En terme de technologies innovantes, les domaines de la gestion de l'énergie, des communications en orbite ou avec le sol, du pilotage / guidage, de la robotique, des interfaces fluides / électriques / mécaniques, du contrôle non destructif, de l'intelligence artificielle, des matériaux, de la mesure... peuvent s'avérer d'intérêt pour remplir ces fonctions.

Cet axe ne fait pas partie du présent Appel à Idées mais est couvert par un Challenge R&D dédié dont l'Appel à projets est ouvert depuis le 5 mars, jusqu'au 31 mars (voir § 6).

Les propositions faites en lien avec cet axe ne pourront pas être étudiées dans le cadre de cet Appel à Idées, et nous vous invitons à les faire parvenir au plus vite en suivant les recommandations du site internet indiqué au § 6.

2.8. Prochaines ruptures

Il s'agit dans cet axe d'innovation de préparer les futures ruptures technologiques ou conceptuelles, en analysant leur faisabilité et leur intérêt. Selon le résultat de ces analyses et l'évolution du besoin marché, ces ruptures pourront devenir l'objet d'axes d'innovation prioritaires dédiés tels que ceux cités précédemment.

Cet axe ne fait pas partie du présent Appel à Idées mais sera couvert par un Challenge R&D dédié dont l'Appel à projets est prévu en juin (voir § 6).

Les propositions faites en lien avec cet axe ne pourront pas être étudiées dans le cadre de cet Appel à Idées, et nous vous invitons à suivre l'actualité du site internet indiqué au § 6 afin de nous les faire parvenir dès le mois de juin à l'ouverture de l'Appel à Projets.

3. LE CHEMINEMENT D'UNE IDEE APRES CET APPEL

Les idées soumises en interne comme en externe sont analysées et évaluées par un comité d'experts du CNES au cours des mois de juin et juillet. Les propositions sélectionnées sont ensuite présentées et validées par un comité directeur qui se tient en septembre.

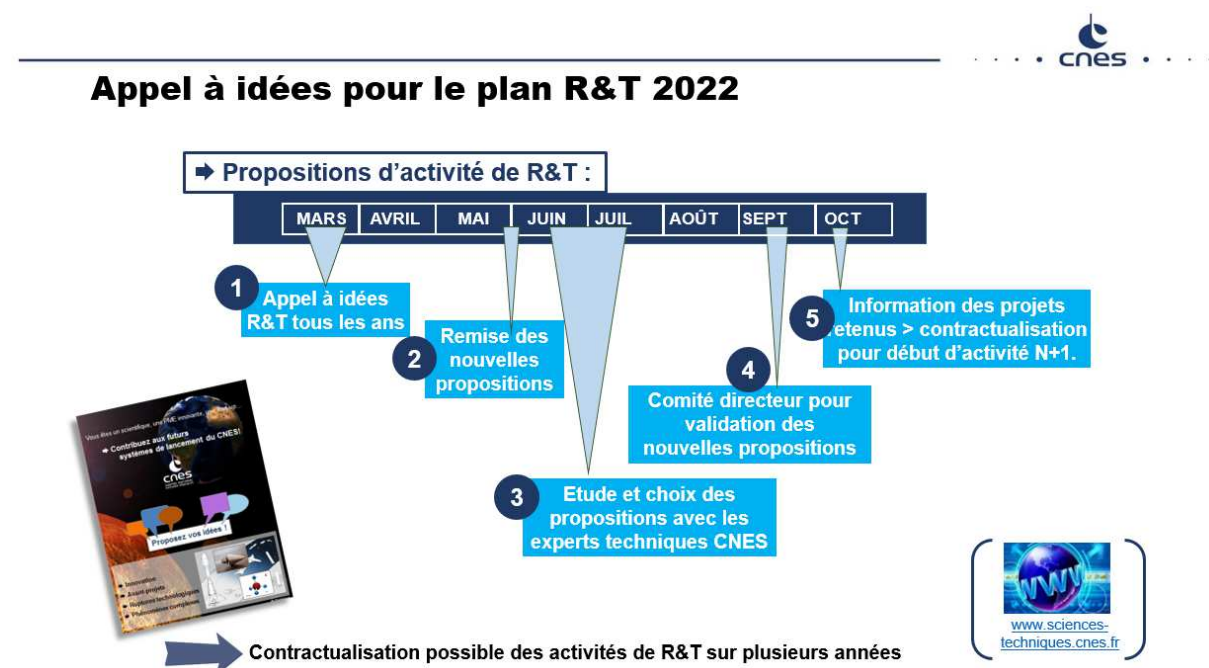


Figure 6 - Macro planning de l'appel à idées

Pour cette année, l'appel à idées s'ouvrira le 24 Mars 2021, et sa date de clôture est fixée au :

28 mai 2021

Nota Bene : Les fiches de proposition ne sont pas confidentielles, toutefois si nécessaire, la diffusion d'informations plus détaillées pourra se faire via un accord de confidentialité.

Le CNES DLA s'engage à informer toutes les entités ayant présenté une idée, soit positivement quand l'idée a été acceptée par le comité directeur, soit négativement quand l'idée n'a pas été acceptée, en détaillant la raison de ce refus.

4. NOS CRITERES DE SELECTION

4 critères de sélection sont appliqués :

- ❖ C1 : Apporter de l'innovation (répondre aux axes d'innovation prioritaires sélectionnés pour cet appel à idées 2022), ou améliorer la compréhension de phénomènes complexes
- ❖ C2 : Favoriser la montée en compétence et l'expertise des partenaires du transport spatial (industriels ou scientifiques),
- ❖ C3 : Favoriser les effets de levier technique (au travers de coopérations) ou économique (via l'entrepreneuriat ou la création d'emploi, ou l'utilisation dans un autre secteur économique, etc...)
- ❖ C4 : Contribuer à minimiser l'impact environnemental dans tous les domaines des systèmes de lancement (par exemple via la réduction de l'empreinte carbone)

5. COMMENT NOUS FAIRE PARVENIR VOS IDEES ?

Retour des fiches d'idées R&T pour le [28 mai 2021](#) à l'adresse suivante :

idees.dla@cnes.fr

Les propositions sont à retourner dans **le format de l'annexe 1 ci-après, en version Word**, pour faciliter le traitement lors de la phase d'analyse et d'évaluation interne au CNES. Le format est également disponible sur le site web du CNES présentant l'appel à idées.

Quelques conseils et précautions :

- **Une seule fiche par proposition.** Dans le cas où plusieurs fiches sont complémentaires, signalez ce lien entre les différentes fiches,
- N'hésitez pas à **illustrer les concepts proposés** si vous le pouvez
- **Nommez les fichiers** en signalant le nom de votre entité et les mots clés de la proposition
- **Ne vous censurez pas !** Sur le format : si votre idée est en gestation, remplissez uniquement ce qui vous paraît pertinent pour amorcer une discussion technique avec nos équipes.

Si vous avez besoin de renseignements complémentaires, n'hésitez à prendre contact par mail avec le chef de projet de la thématique concernée (cf. Annexe 3).

6. AUTRES APPELS POUR LES PROJETS FUTURS « TRANSPORT SPATIAL »

Pour information, le présent appel à idées vient en complément de 3 autres appels à projets du CNES décrits ci-dessous. Voir aussi <http://intranet.portail.cnes.fr/Pages/Cnes-et-Non-Cnes/Avec-le-CNES,-inventez-les-futurs-systèmes-de-lancement-pour-l'Europe.aspx>

6.1. Appel à projets du Challenge R&D « Réutilisation de l'étage supérieur »

Ce processus « Challenge », testé pour la première fois en 2020, est pensé pour faciliter l'accès à un financement du CNES pour développer une solution innovante applicable aux futurs projets spatiaux, qui pourra se poursuivre éventuellement par la suite dans un cadre R&T.

Cette nouvelle édition, la première pour 2021, cible plus particulièrement la « Réutilisation de l'étage supérieur » pour les futures versions des lanceurs de classe Ariane, à l'horizon de la décennie 2030-2040.

L'appel à projets de ce challenge R&D est ouvert depuis le 5 mars 2021, et la date limite de remise des dossiers est le 31 mars 2021.

Les auteurs des projets pré-sélectionnés présenteront devant un comité d'attribution le 19 mai 2021 lors d'un Pitch Day, avec une signature du contrat en séance pour les meilleures propositions.

Pour plus de renseignements : <https://entreprises.cnes.fr/fr/appels-projets/challenge-rd-reutilisation-de-letage-superieur>

6.2. Appel à projets du Challenge R&D « Ruptures Technologiques »

Cette seconde édition 2021 du processus « Challenge » a pour but d'explorer les ruptures technologiques et les concepts futurs qui pourraient voir le jour pour les lanceurs d'après 2040.

L'appel à projets de ce challenge sera rendu public début juin.

Là encore, les meilleures propositions présenteront lors d'un Pitch Day prévu à l'automne, avec une signature du contrat en séance.

Appel à projets à venir en Juin.

6.3. Appel à thèses et post-doc

8 octobre 2021 Date limite de remise des propositions de sujets de thèses
Cet appel s'adresse uniquement aux laboratoires français, et s'appuie sur les 8 axes d'innovation prioritaires décrits en § 2, ainsi que sur l'amélioration de la compréhension des phénomènes complexes.

Pour plus de renseignements : <https://rt-theses.cnes.fr/>

7. ANNEXES

7.1. Annexe 1 – format de fiche

Petite illustration symbolique

<u>Fiche de Proposition d'Activités</u>	Fiche émise par : YYYYY Fiche n° : XXXX Rev : 0 du XX/XX/2021 Redacteur :
<u>Titre : XXXXXXXX</u> <u>Mots clefs:</u> <i>Ex : Concepts lanceur biodégradable, Propulsion à ressort, Structures moles, Avionique sans pilote, etc</i>	

<u>Objectif de l'activité :</u> <i>Problématique initiale / objectifs techniques visés durant l'étude, à plus long terme.</i>
<u>Contexte technique :</u> <i>Indiquer :</i> - la maturité du sujet, État de l'art, les études antérieures, - le positionnement vis-à-vis R&T interne ou externe (ESA, UE, DGA, autres), <i>Identifier les retombées potentielles en termes de :</i> - caractère innovant, - ampleur des résultats attendus sur le plan scientifique et technique, - ouverture d'un marché important en matière industrielle, ou retombées possibles dans d'autres secteurs que celui de l'objectif principal (dualité, missions commerciales, grand public), - avancées technologiques (validation de nouvelles technologies spatiales).
<u>Contexte programmatique :</u> Objectif (cocher l'une des deux cases) ☐ Innovation (cocher le ou les axes ci-dessous) ☐ Compréhension phénomènes complexes Axes d'innovation (si innovation, cocher la ou les cases) ☐ Propulsion LOX-CH4 ☐ Réutilisation 1^{er} étage ☐ Sauvegarde autonome ☐ Simplification système de lancement ☐ Réduction de l'empreinte carbone ☐ Etage à indice constructif performant <i>Cohérence avec une thématique/cible AVP/R&T, avec une Roadmap, (sera instruit par le CNES si vous ne savez pas ...)</i>
<u>Description de l'action, étapes clés, durée, TRL (pour la R&T) :</u> <i>Description des activités, phasage sommaire, extensions éventuelles sur l'année suivante.</i> TRL (Technology Readiness Level pour les activités R&T) :

En début de l'activité proposée :

A la fin de l'activité proposée

Interface, synergie, partenariat

Entrées/sorties éventuelles autres études/activités, partenariat et coopération proposés/en place, ouvertures futurs possibles au sein de l'écosystème lanceur.

Détail des coûts unitaires

Ce détail des coûts n'est communiqué qu'à titre indicatif et n'est nullement engageant pour le CNES. Il devra faire apparaître la part financée pour chacun des partenaires impliqués.

• **Répartition des coûts par année en € HT**

	2022	2023	2024	2025
Montant financé par le CNES				

• **Tableau destiné aux industriels**

1- MAIN D'ŒUVRE DIRECTE	NBRE UNITES D'ŒUVRE	TAUX UNITE D'ŒUVRE	MONTANT en € HT
1.1 Ingénieurs			
1.2 Techniciens			
1.3 Ouvriers			
Total des heures et des coûts de main d'œuvre			
2 - MOYENS INTERNES DE PRODUCTION			
3 – APPROVISIONNEMENTS			
5 - FRAIS HORS PRODUCTION			
PRIX DE VENTE TOTAL			
MONTANT FINANCE PAR L'INDUSTRIEL			
MONTANT FINANCE PAR LE CNES			

- Tableau destiné aux laboratoires de recherche

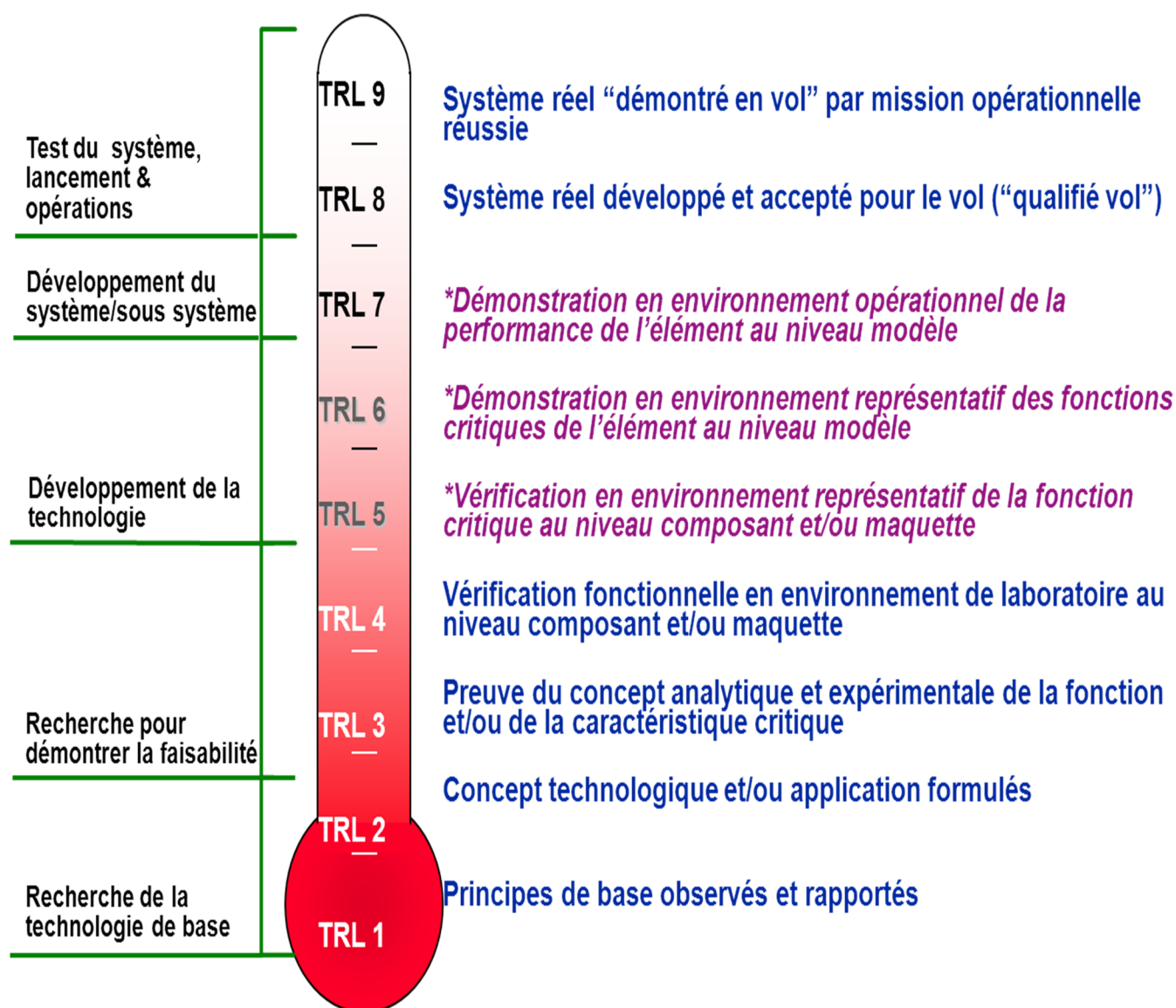
BUDGET DEMANDE AU CNES PAR LABORATOIRE				
A - MATERIELS INVENTORIABLES (liste et valeur d'achat HT du matériel inventorable de plus de 10 000 € HT)				
TOTAL MATERIELS INVENTORIABLES (théoriquement 100 % / année N de l'achat du matériel)				
B - ETUDES ET REALISATIONS, MATERIELS NON INVENTORIABLES				
TOTAL ETUDES / REALISATIONS / MATERIELS NON INVENTORIABLES				
C – MISSIONS				
Nombre participants	Destination	Nombre jours	Coût journalier	Coût voyage
TOTAL MISSIONS PAR LABORATOIRE				
D - PERSONNEL (Vacations/Stagiaires. Les personnels en CDD ne figurent pas sur cette fiche)				
Indemnités X Euros/mois pendant Y mois				
TOTAL PERSONNEL				
TOTAL H.T. A + B + C + D				
FRAIS DE LABORATOIRE 5,5 % maximum				
FRAIS DE GESTION 2,5 % maximum				
TOTAL H.T. FINANCE PAR LE CNES A + B + C + D + FRAIS DE GESTION				
AUTRES MOYENS UTILISES PAR LE PROJET				
E - PERSONNEL TECHNIQUE DU PROPOSANT				
Qualification x X mois x Y/mois				
TOTAL PERSONNEL TECHNIQUE DU PROPOSANT				
F - FINANCEMENTS EXTERNES				
Qualification x X mois x Y/mois				
TOTAL FINANCEMENTS EXTERNES				
TOTAL PARTICIPATION DU LABORATOIRE				
TOTAL COUT ACTIVITE				

7.2. Annexe 2 : Échelle de Maturation des Technologies

TRL : Technology Readiness Level

LA VERSION J-C MANKINS (1995)

**MODIFIÉE ISO 16290 (2013)*



7.3. Annexe 3 :

Les correspondants projet R&T de la Direction des Lanceurs du CNES

Prénom Nom	Thématiques	Adresse mail
David MIOT	Système, Structure & Microgravité Propulsion solide	david.miot@cnes.fr
Stéphane ORIOL	Propulsion Liquide	stephane.oriol@cnes.fr
Nathalie CESCO	Pyrotechnie	nathalie.cesco@cnes.fr
Pascal NOIR	Système, SEL, Dynamique, éco-conception	pascal.noir@cnes.fr
Massimo FERLIN	Sol et Interface sol/bord	massimo.ferlin@cnes.fr