



**ariane**GROUP

# **Architectures, technologies et Organisations lanceurs innovantes**

**Space School  
Juin 2019**

**Didier GIGNAC  
Référent Espace  
À l'ISAE-ESTACA**

# Introduction

- La mission des lanceurs est simple à définir: emporter les charges utiles en orbite dans de “bonnes” conditions
- La technologie est cependant complexe et coûteuse, et supportée en grande partie par les états
- Les contraintes économiques et la compétition grandissante poussent vers un espace moins cher et plus supporté par le privé
- Ceci doit se doubler de règles internationales pour garantir une industrie plus saine et un espace peu pollué
- Ce sont les enjeux majeurs de l'innovation spatiale, et des métiers de demain pour les lanceurs.



# Agenda

- Introduction
- Nouvelles architectures/ concepts lanceurs
- Nouvelles technologies/ services
- Nouvelle stratégie industrielle
- Conclusion



# Ariane 5 G / E (A5ME cancelled)

- Height = 50 m to 60 m

- Take-off weight : 750 to 780 tons

~ 650 (+/-20) tons of propellants

~ 100 tons of structures, engines and equipment items

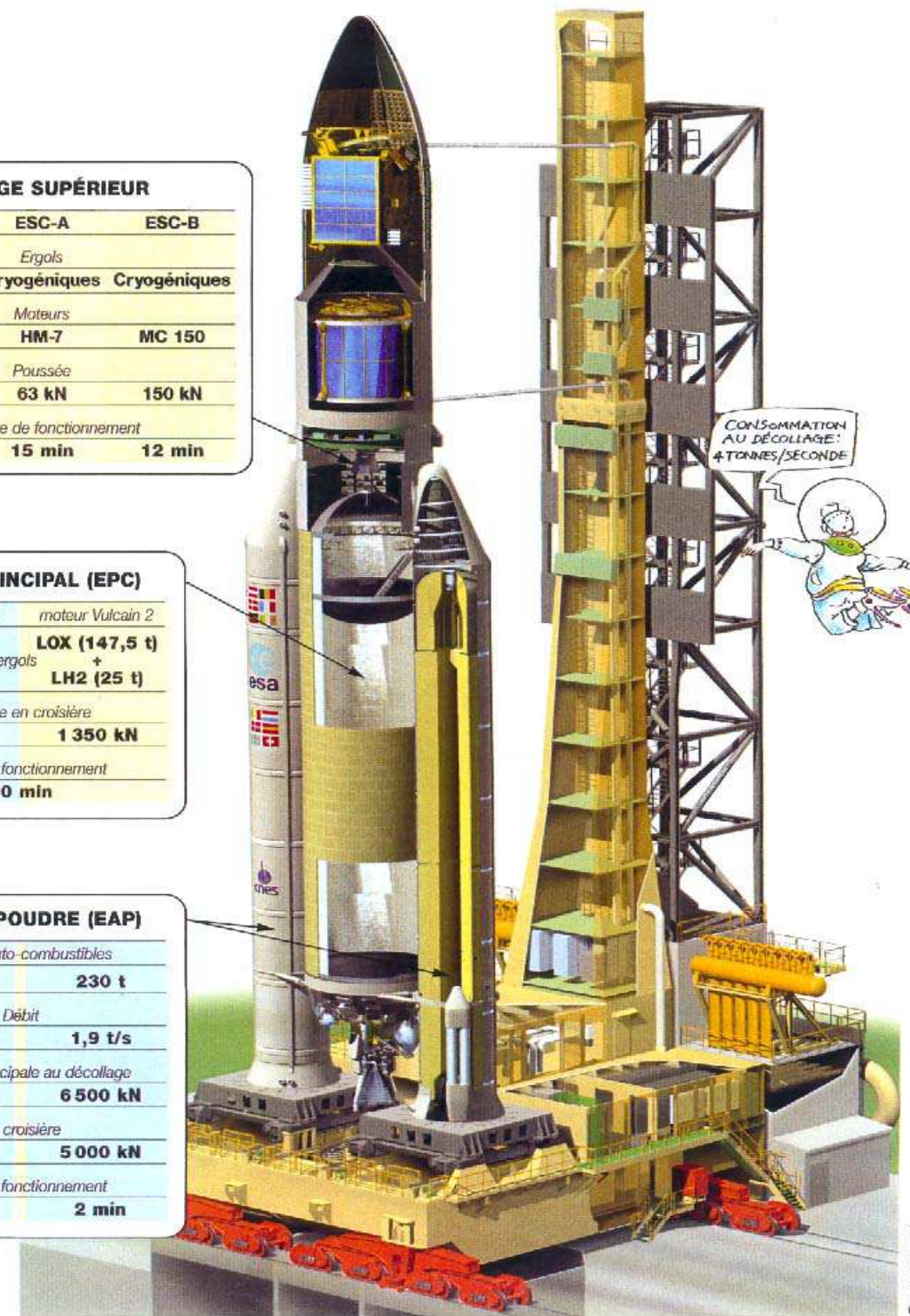
~ 5 - 20 tons of satellites

- Take-off thrust: 1400 tons

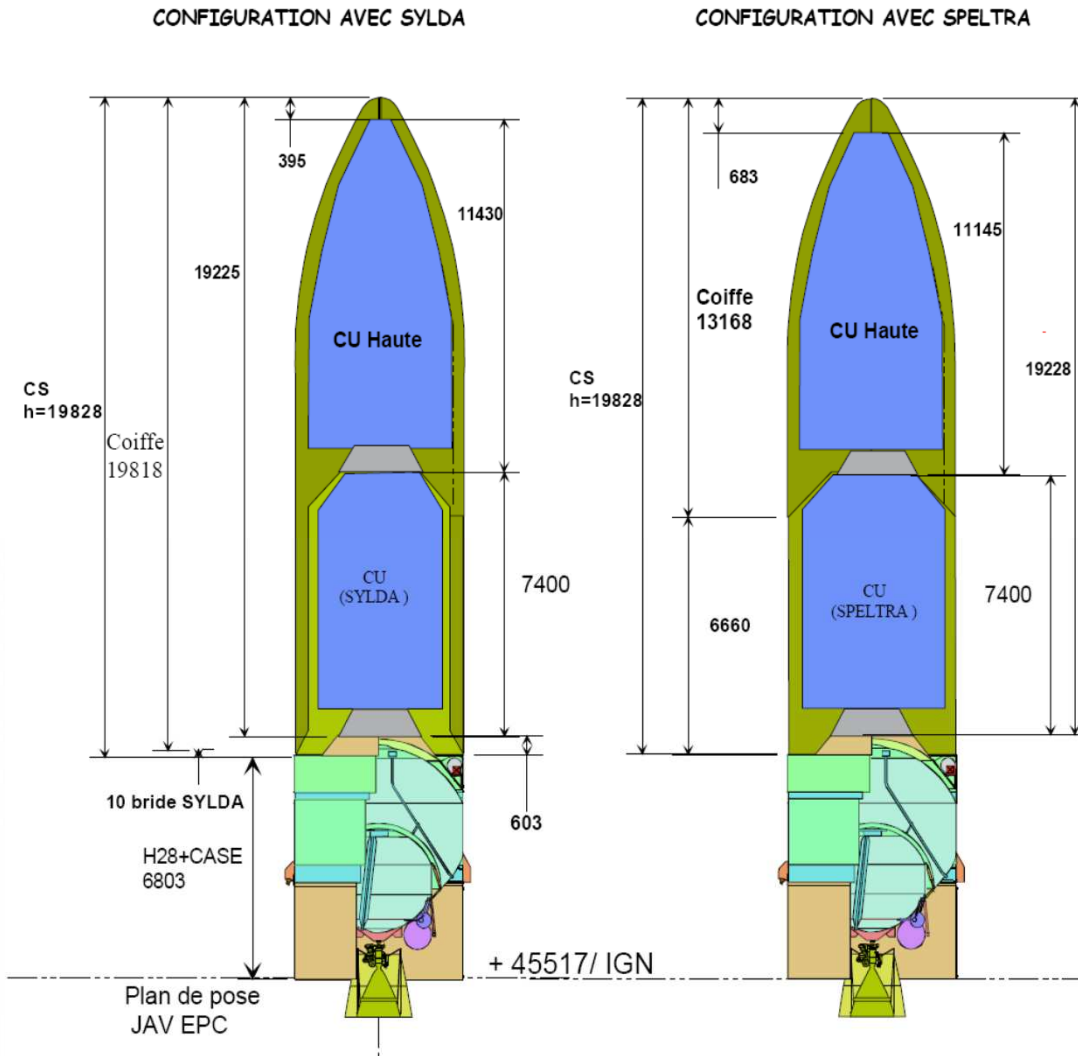
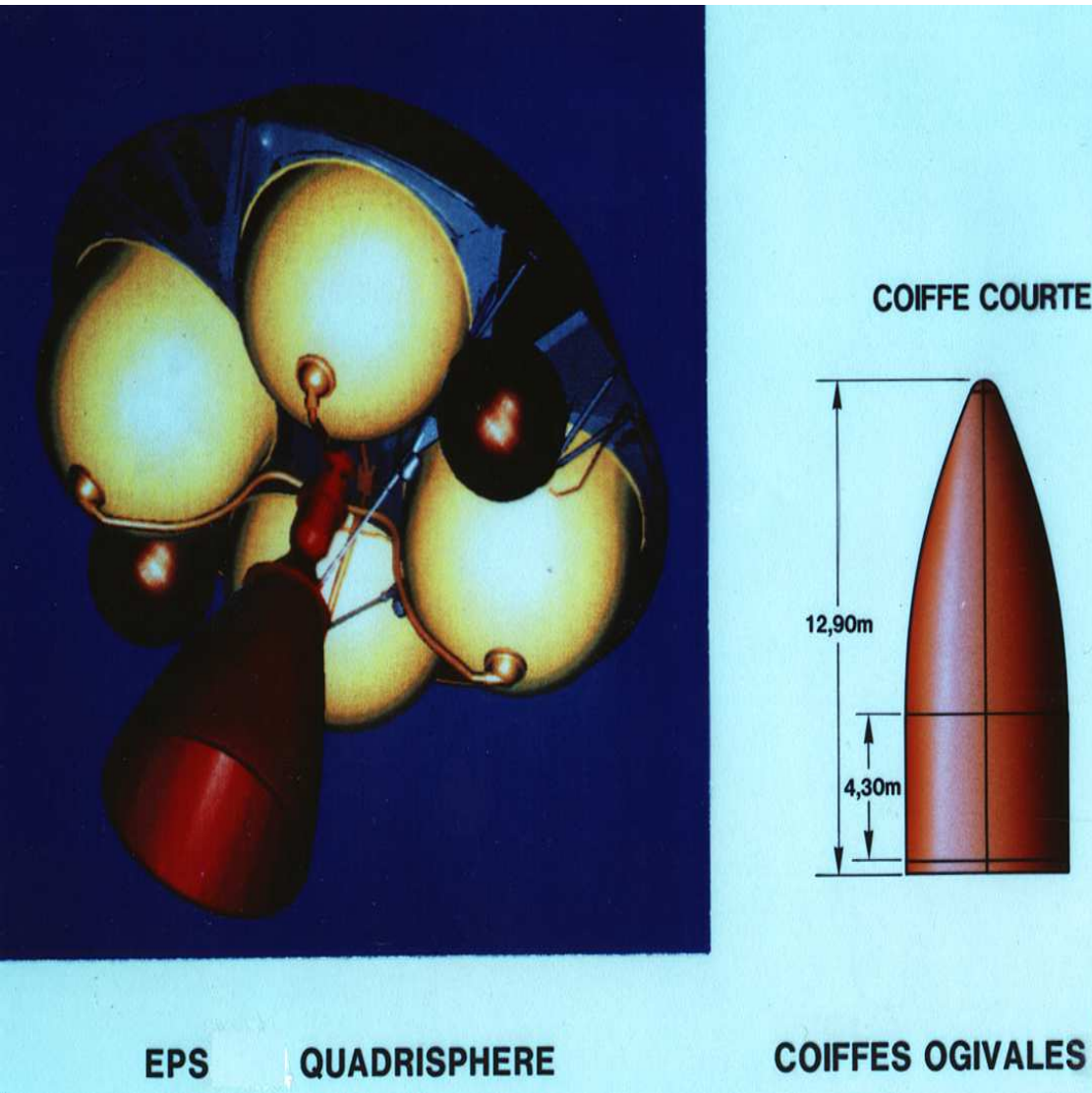
ÉTAGE SUPÉRIEUR		
EPS	ESC-A	ESC-B
Ergols		
Stockables	Cryogéniques	Cryogéniques
Moteurs		
Aestus	HM-7	MC 150
Poussée		
27,5 kN	63 kN	150 kN
Durée de fonctionnement		
19 min	15 min	12 min

ÉTAGE PRINCIPAL (EPC)	
moteur Vulcain 1	moteur Vulcain 2
LOX (125 t) + LH2 (25 t)	LOX (147,5 t) + LH2 (25 t)
ergols	
Poussée en croisière	
1 150 kN	1 350 kN
Durée de fonctionnement	
10 min	

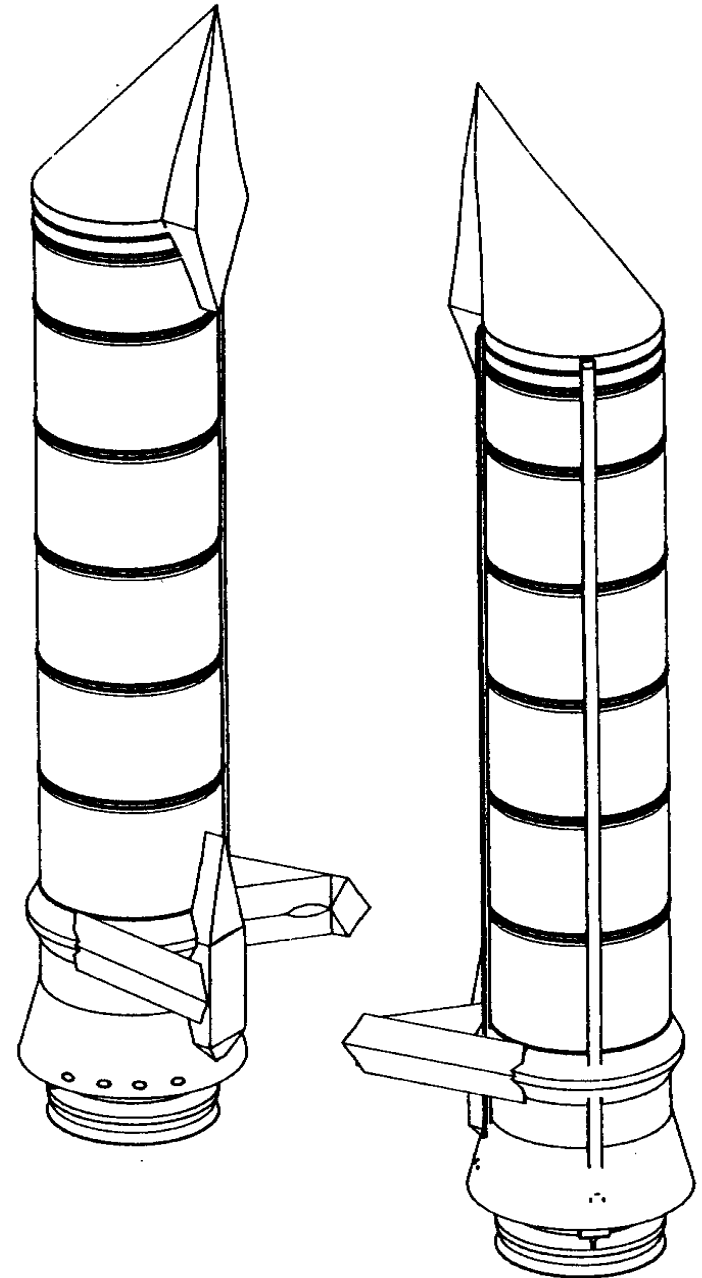
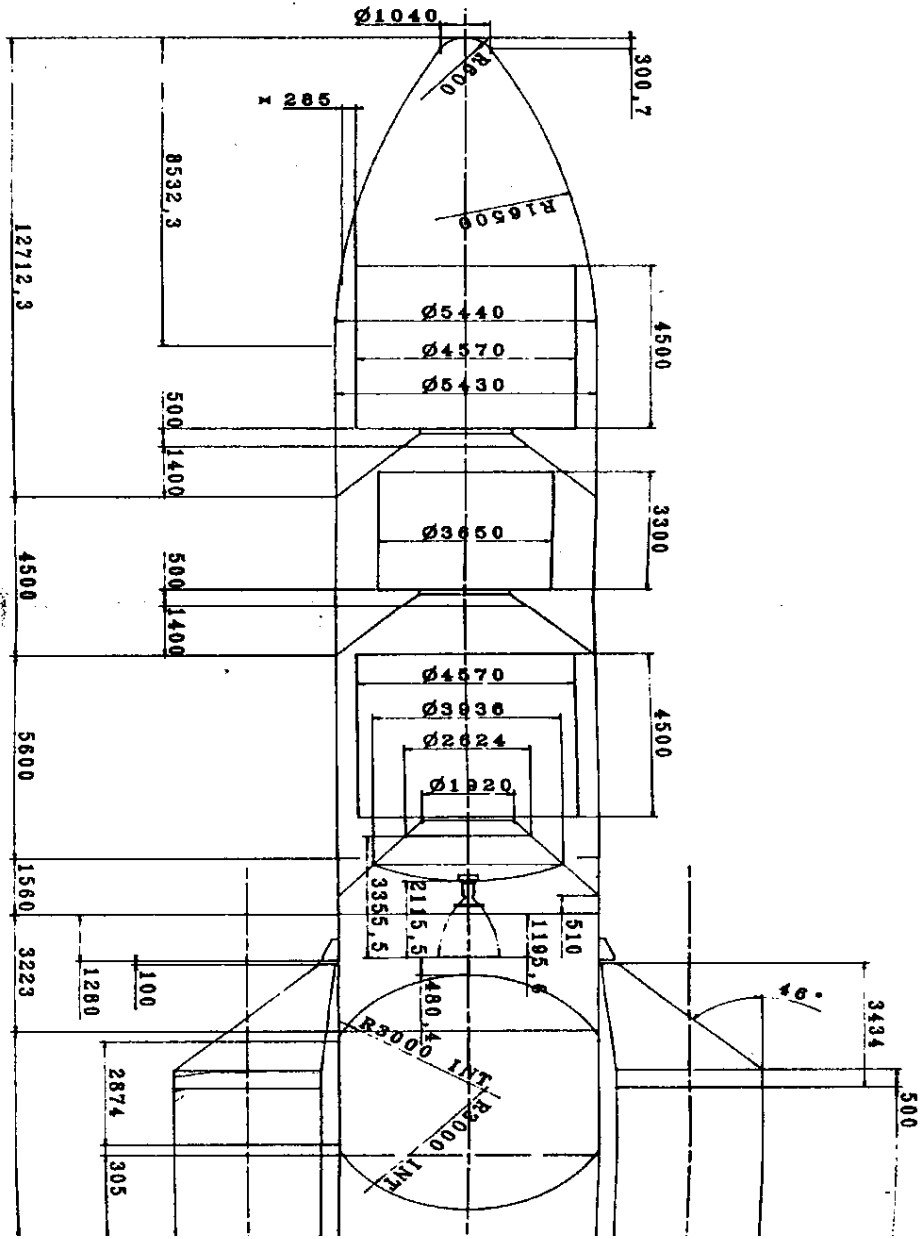
ÉTAGE À POUDRE (EAP)	
2 Blocs auto-combustibles	
230 t	230 t
Débit	
1,9 t/s	1,9 t/s
Poussée principale au décollage	
6 500 kN	6 500 kN
En croisière	
5 000 kN	5 000 kN
Durée de fonctionnement	
2 min	2 min



# L'architecture Partie Haute



# Architecture : études diverses





# Pegasus

## L-1011 Pegasus Drop (Launch)

t = 0  
h = 12.4 km



## Stage 1 Ignition

t = 00:05 (mm:ss)  
h = 12.3 km



## Stage 2 Ignition

t = 01:34 (mm:ss)  
h = 71.4 km



## Stage 1 Burnout

t = 01:17 (mm:ss)  
h = 53.5 km

Max q  
1,413 psf

## Stage 2/3 Variable Length Coast

## Payload Fairing Jettison

t = 02:12 (mm:ss)  
h = 115.9 km

## Stage 2 Burnout

t = 02:48 (mm:ss)  
h = 174.3 km

## Stage 3 Ignition

t = 06:48 (mm:ss)  
h = 486.8 km

## Stage 3 Burnout

t = 07:56 (mm:ss)  
h = 512.4 km



# Growing competition btw heavy launchers.

Competitors with GTO capability of 3.5t



New Threat to AE

Players with less commercial potential



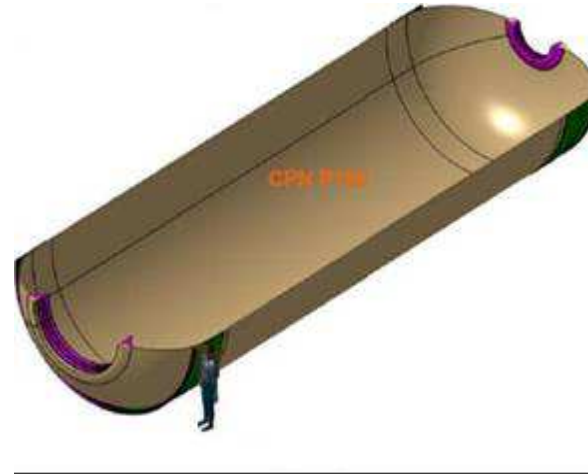
Launcher	Ariane 5 ECA	Proton M	Zenit 3SL	Soyuz 2	Falcon 9 V1.1	Falcon Heavy	Long March 3B/E	Atlas V	H2A
Launch Price M\$	200	90-100	110	95	56,5	135	65 - 80	200	100
Service Provider	AE	ILS	Sea Launch AG	Starsem	Space X	Space X	CGWIC	ULA	H IIA Launch Services
GTO kg	10,300	6,500	6,100	3,250	4,850 (TBC)	21,200 (TBC)	4,800	4,750	5,800
Launch Reliability (last 10 years)	38/39 97%	62/69 90%	26/27 96%	20/20 100%	1/1 100%	NA	18/21 83%	34/34 100%	19/20 95%
Commercial Sat.Capacity / y	14	10	4	3	6+	12 (TBC)	5	2	2
Single/Dual launch capability	Single & dual	Single & dual	Single	Single	Single	Single & dual	Single	Single (dual in dvlpmt)	Single



THIS DOCUMENT AND ITS CONTENTS ARE PROPERTY OF ARIANEGROUP. IT SHALL NOT BE COMMUNICATED TO ANY THIRD PARTY WITHOUT THE OWNER'S WRITTEN CONSENT | ARIANEGROUP SAS - ALL RIGHTS RESERVED.



# ARIANE 6 1<sup>er</sup> concept: à partir de 2 briques



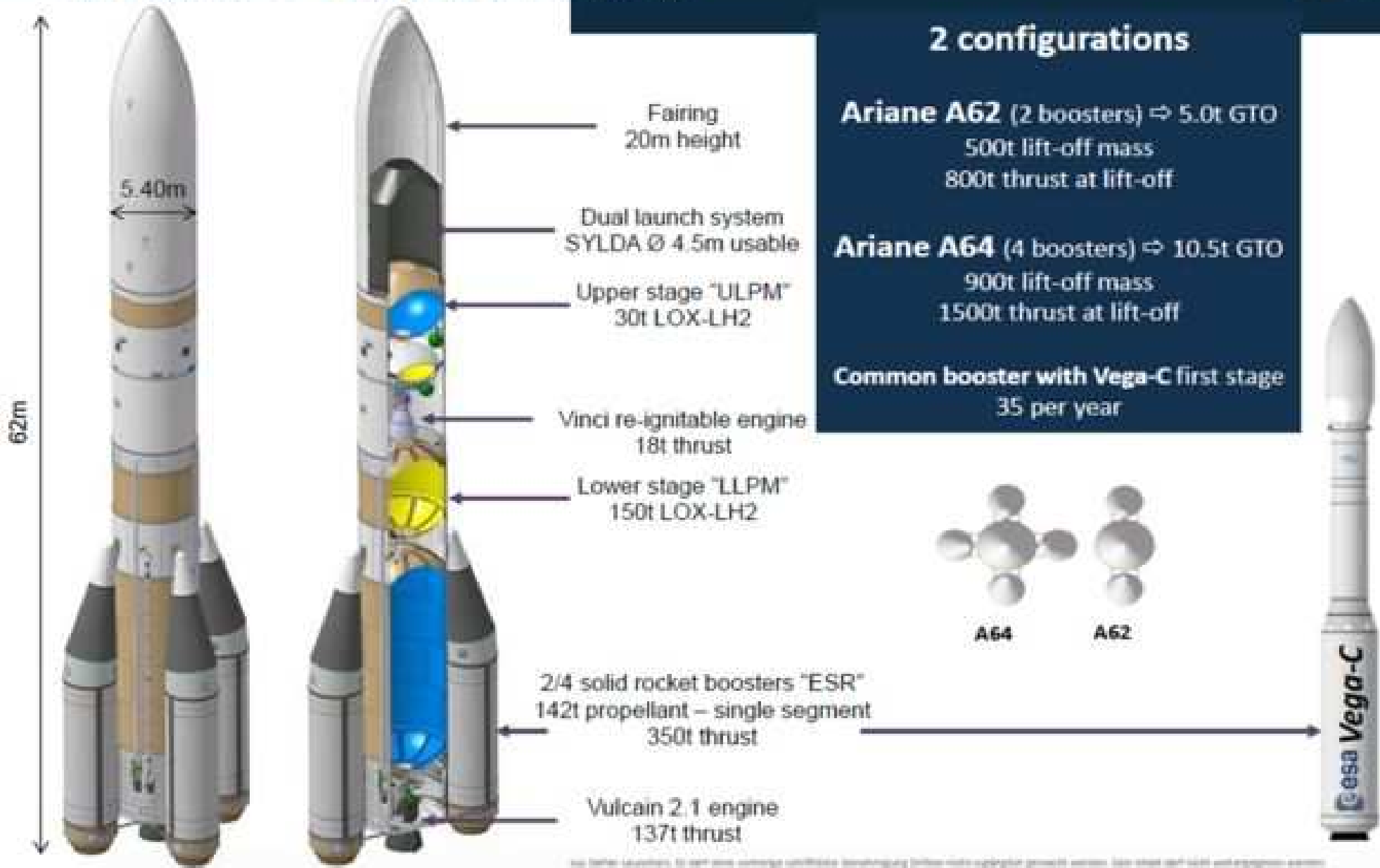
Propulsion solide



Propulsion liquide

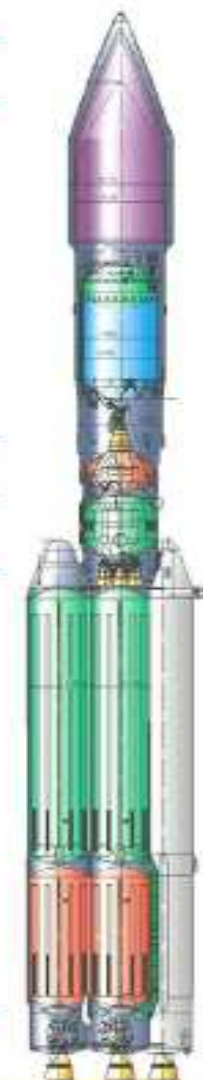
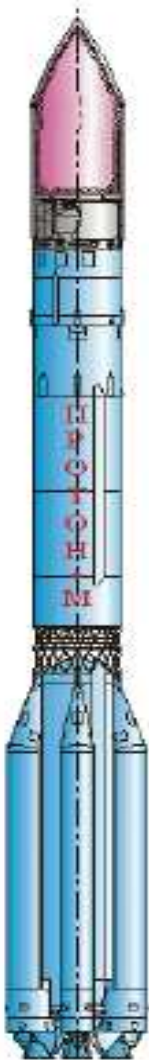


# Ariane 6 Configuration



Les données relatives à cet article ont été vérifiées par les journalistes de l'Innovation lanceurs. Elles sont susceptibles d'être mises à jour en fonction de l'évolution des données. Les données sont susceptibles d'être modifiées sans préavis. Les données sont susceptibles d'être modifiées sans préavis. Les données sont susceptibles d'être modifiées sans préavis.

# Comparative Characteristics of the Proton M and Angara-A5 Launch Vehicles



Main Characteristics		Proton M	Angara-A5
Liftoff mass (tons)		702	773
Max. length of the ILV (m)		61.76	64.0
Max. diameter of the ILV (m)		7.48	8.86
Number of stages / engines		3/12	3/6
Propellants		NO <sub>4</sub> + MMG	O <sub>2</sub> + RP-1
Performance Characteristics	Proton M	Angara-A5	
		Plesetsk	Baikonur
Circular orbit H <sub>circ</sub> = 200 km	22 t	24.5 t (i = 63°)	25.4 t (i = 51.6°)
GTO			
with Breeze M Upper Stage	6.35 t	5.4 t	6.4 t
with cryogenic Upper Stage	N/A	6.6 t	8.1 t
GSO			
with Breeze M Upper Stage	3.3 t	2.8 t	3.4 t
with cryogenic Upper Stage	N/A	4.0 t	4.3 t





# SpaceX – Reusable products

## CAPABILITIES & SERVICES

SpaceX offers open and fixed pricing for its launch services. Modest discounts are available for contractually committed, multi-launch purchases. Prices shown below are paid in full standard launch prices for 2019. SpaceX can also offer crew transportation services to customers seeking to transport astronauts to alternate LEO destinations. Please contact [sales@spacex.com](mailto:sales@spacex.com) for details.

[FALCON 9 →](#)  
[FALCON HEAVY →](#)  
[PRIVATE CREW PROGRAM →](#)

PRICE	FALCON 9	FALCON HEAVY
PAID IN FULL STANDARD LAUNCH PRICES (2019)	\$56.5M	\$77.1M / \$135M <small>140 to 145 t to LEO / 140 to 150 t to GTO</small>

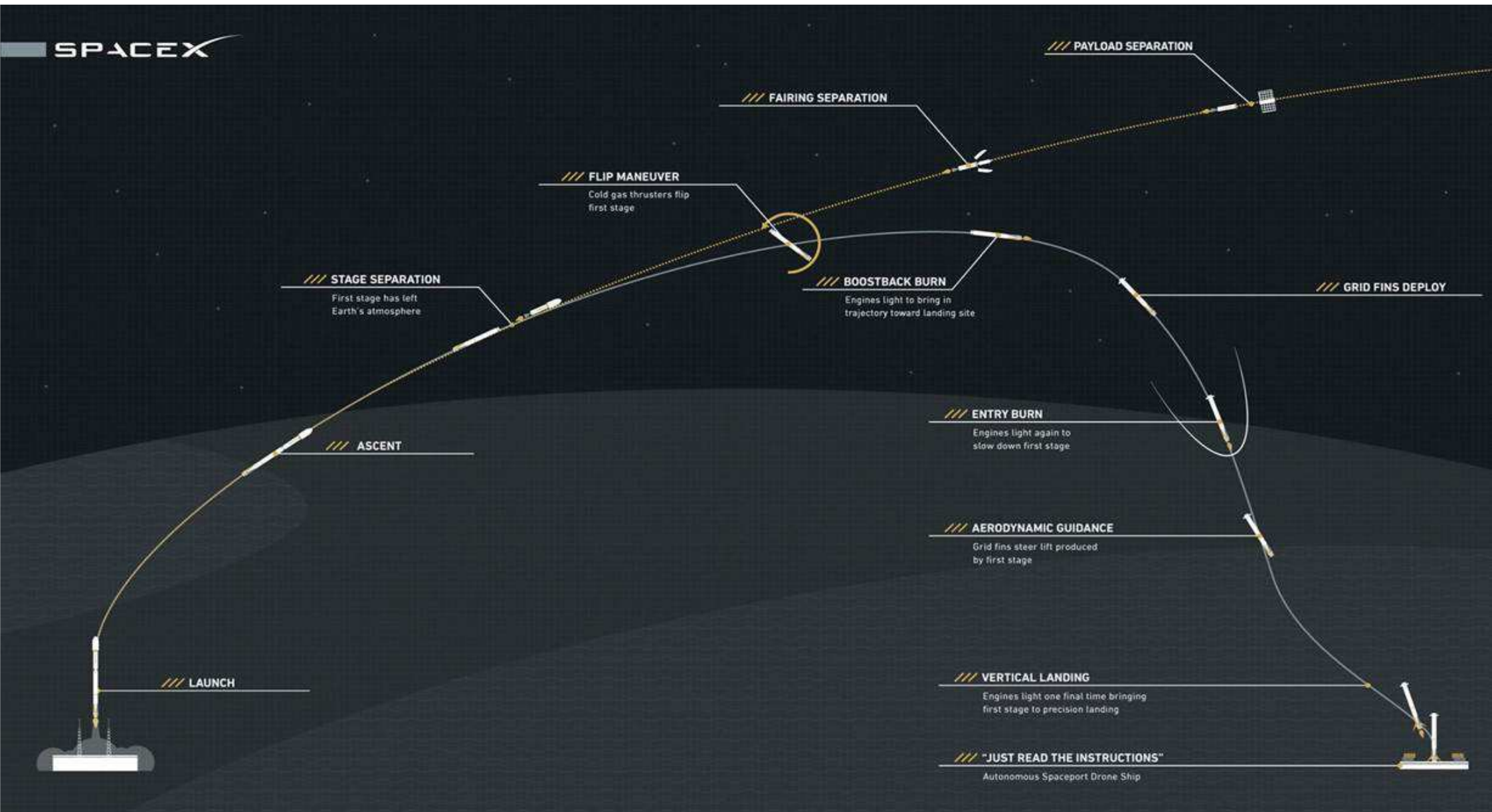
PERFORMANCE	FALCON 9		FALCON HEAVY	
	INCLINATION	PERFORMANCE	INCLINATION	PERFORMANCE
LOW EARTH ORBIT (LEO)	28.5°	13,150 kg <small>28,991 lb</small>	28.5°	53,000 kg <small>116,845 lb</small>
GEOSTATIONARY TRANSFER ORBIT (GTO)	27°	4,850 kg <small>10,692 lb</small>	27°	21,200 kg <small>46,738 lb</small>

- F9-R is the re-usable version of F9
- FH-R GTO performance (6.4t) equal Proton, Sea Launch and A5 upper P/L
- Price of kg to GTO ~\$12000 (~F9)
- 2 landing sites: Cap + drone ship
- New launch site in Brownville (TX)





# SpaceX – Recovery strategy



# Reusability of Falcon 9



© 2018 SpaceX. All rights reserved. This document is the property of SpaceX Launchers SAS. It shall remain confidential and its disclosure without agreement, is strictly prohibited. All rights reserved.



## United Launch Alliance

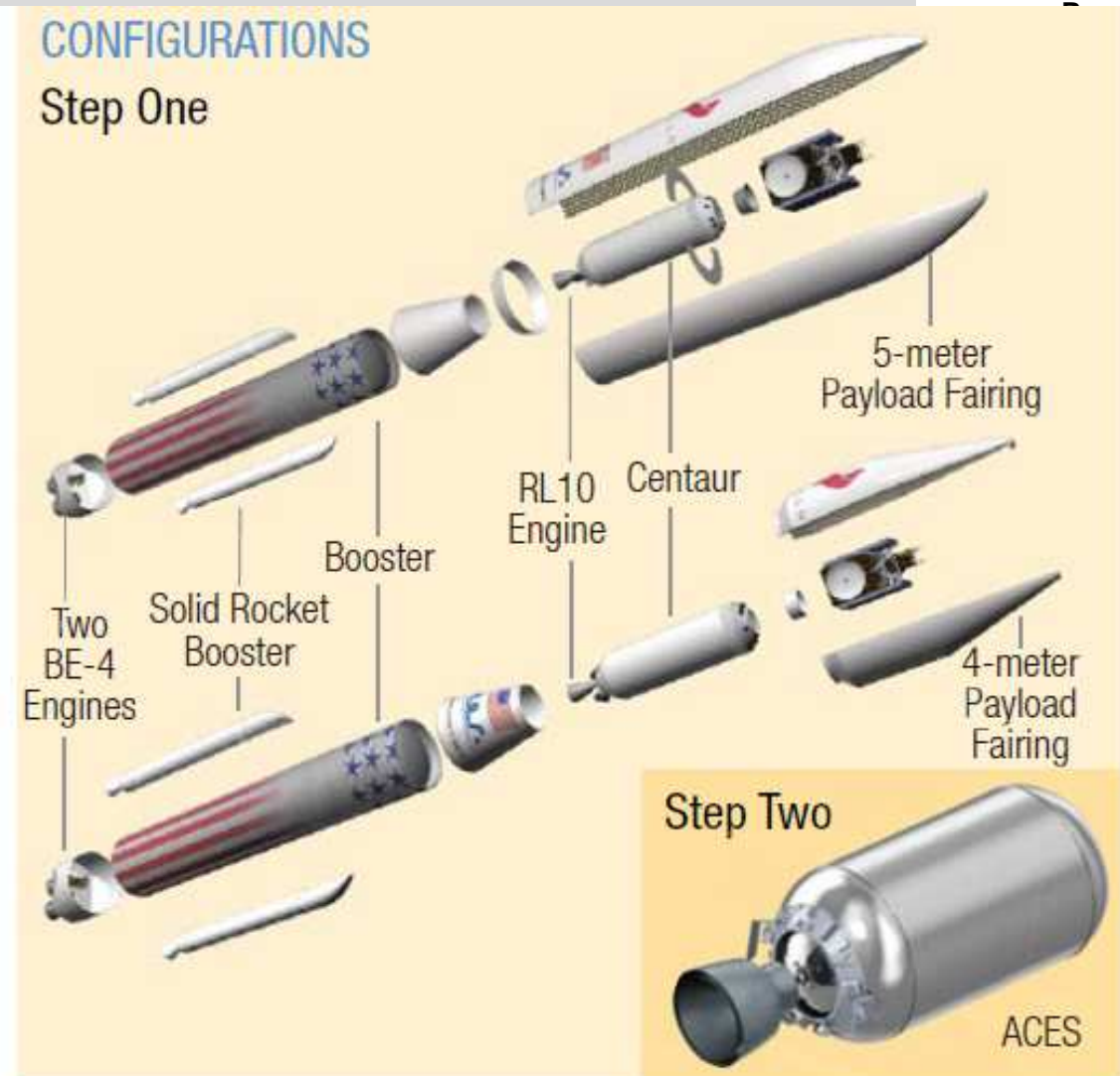
- Two World Class Launch Systems Operating as a Single Provider to the U.S. Government
  - Atlas V Product Line, Delta IV Product Line, Delta II Product Line
- More Than a Century of Combined Experience in Expendable Launch Systems & Providing Assured Access to Space
  - Pooled Experience of More Than 1,300 Launches
  - Legacy Reaching Back to the 1950s
- Responsible for Design, Development, Production, Spacecraft Integration, and Launch





# Lanceur Vulcan

- A base d'Atlas et Delta, ~100 M\$
- 1ère étape en 2020-21: nouveau 1<sup>er</sup> étage  $\Phi$ 5m, 2 moteurs LOx-méthane 4900 kN total + >6 PA solides + Partie Haute Atlas, voire capsule Boeing
- 2<sup>ème</sup> étape en 2023: nouvel étage ACES avec réservoirs cryos type Centaur, 1 à 4 moteurs ~100 kN, réallumable et ravitaillable
- 3<sup>ème</sup> étape >2024: récupération (bouclier gonflable + hélico) ensemble propulsif 1<sup>er</sup> étage (1/2 coût étage), puis récupération autres modules pour réduire par 10 le coût

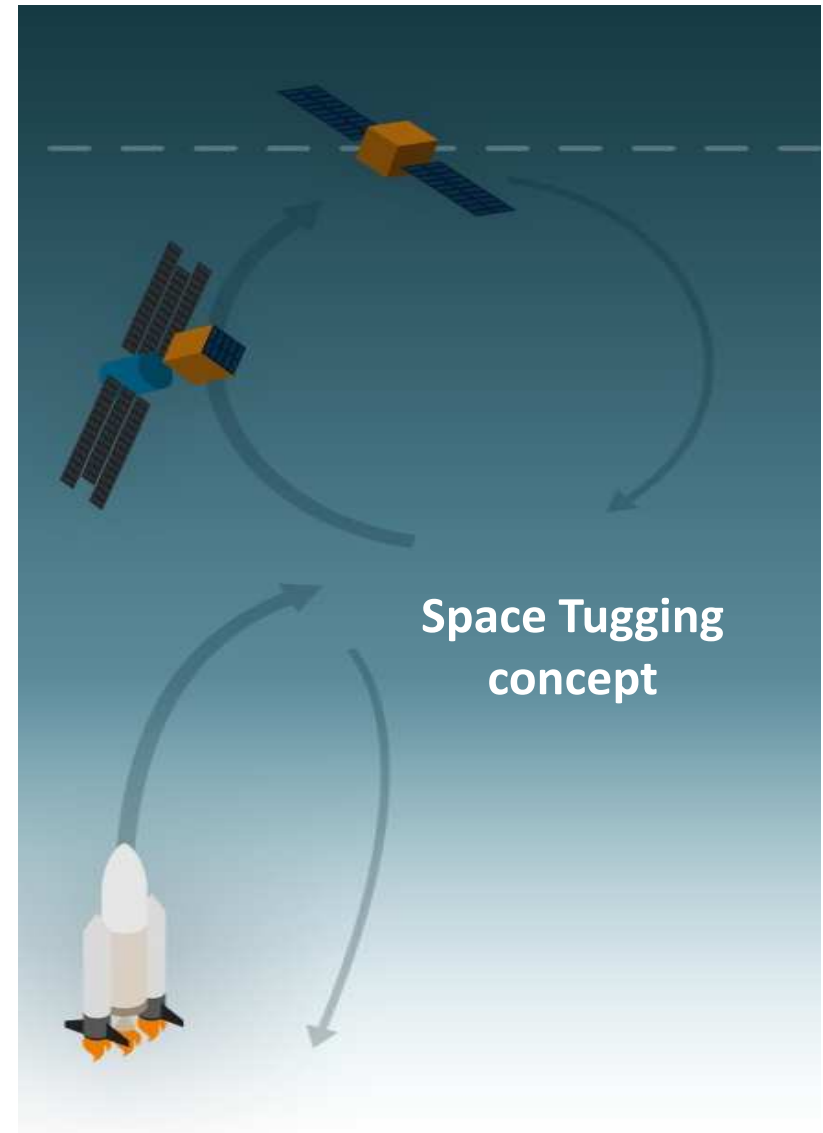




# Récupération / Réutilisation en Europe

- ❑ Lanceurs récupérables européens analysés en parallèle de l'avant-projet Ariane 5:
  - ⇒ Français, mais aussi Allemand (Sänger) ou Anglais (HOTOL)
  - ⇒ Abandonné: intérêt économique non démontré, en particulier Navette
- ❑ Premières récupérations réalisées sur les boosters d'Ariane 5 dès 503 (1998):
  - ⇒ Expertise, Démonstrateur
- ❑ Les analyses se sont poursuivies en direction de:
  - ⇒ Démonstrateurs récupération (partielle) et moteur,
  - ⇒ analyse économique (effet cadence)
  - ⇒ Faisabilité technique: Propulsion (Prometheus), Structure et actuateurs
  - ⇒ Réutilisation troisième étage en orbite (propulsion électrique).

# And beyond Ariane 6, innovative concepts to prepare our future in Space



# THEMIS DEMO



**Opportunity:**  
- 3 flight tests  
- 2 refurb



# CALLISTO

# SPACE INDUCTION

## Space use evolution in the next 20 years

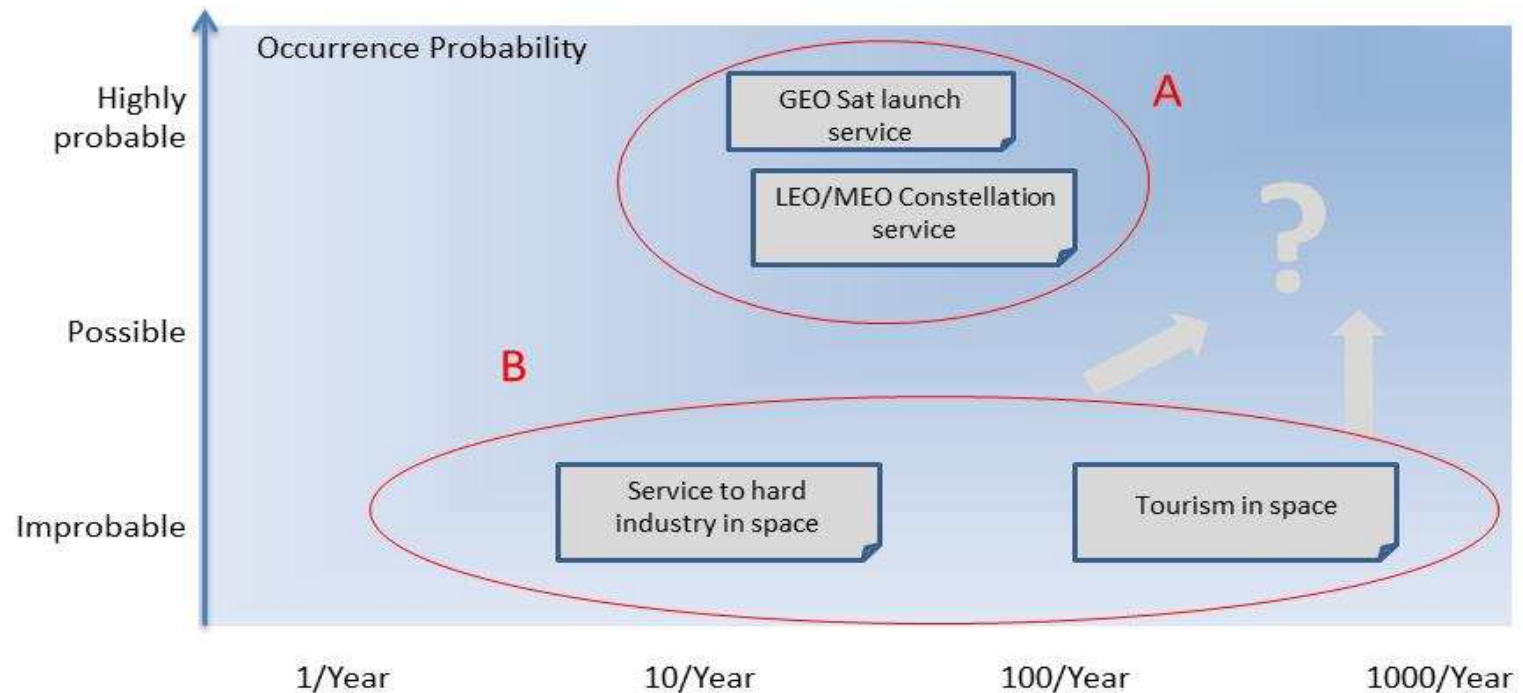


Launch service will rely on:

A. Classical launch service

B. New services for Industry and Tourism

Although B service is improbable it could represent an important driver because it calls for and can support technological breakthroughs in launch services for cost reduction, flight cadency, flight





# SPACE INDUCTION AIRBUS SPACE TOURISM CONCEPT



- **Multi mission innovative vehicle**
  - Space Tourism
  - Micro-g missions (up to 400kg, 6m<sup>3</sup>)
  - Earth system science/observation
  - Astronaut training (High-fidelity weightlessness & long time)
  - Launch small sat (add rocket stages)
- Operated as a standard airplane whenever traveling in current air traffic
- Home funded pre-development phase / industrial partners / research labs



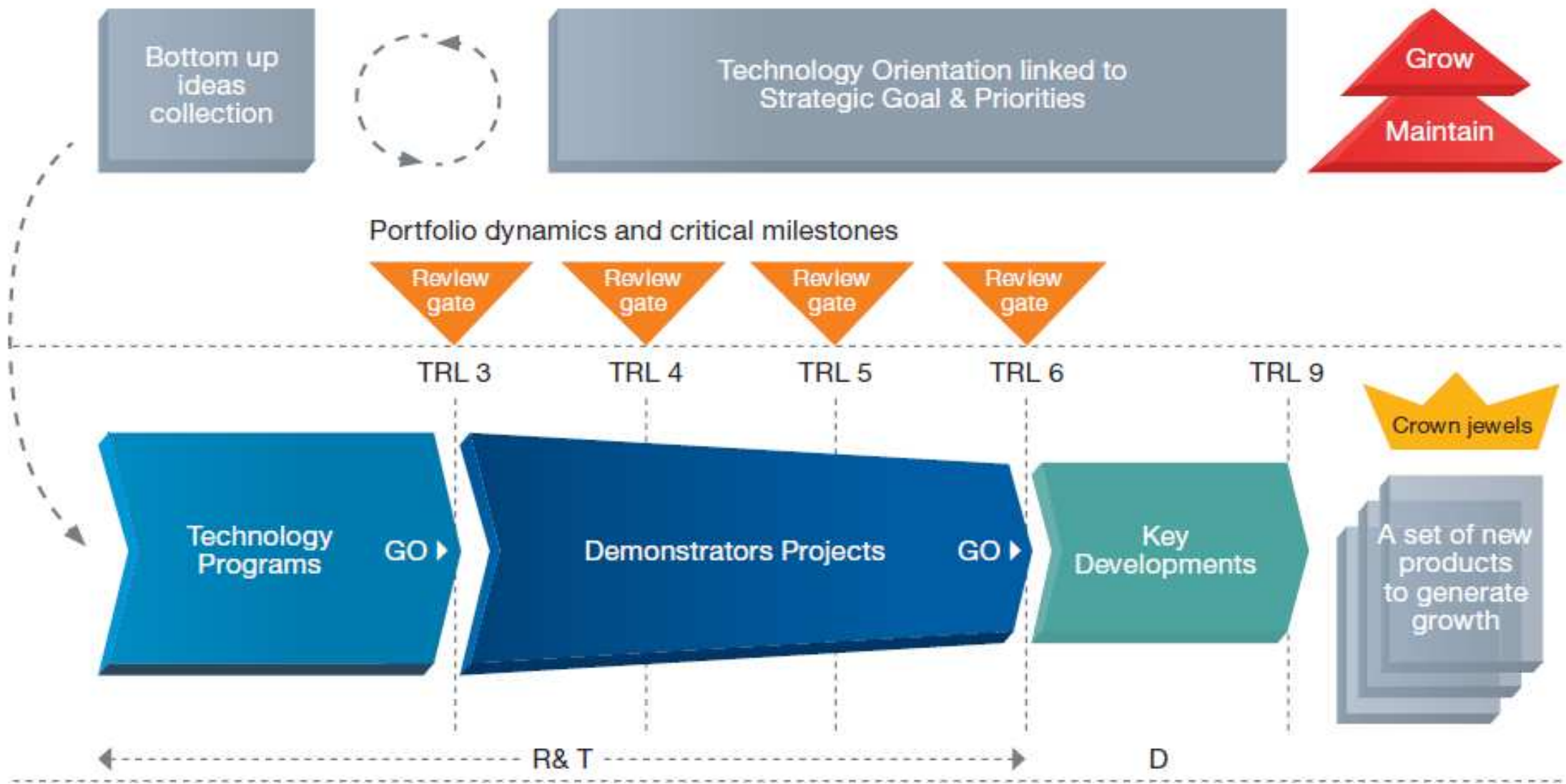
# Agenda

- Introduction
- Nouvelles architectures/ concepts
- **Nouvelles technologies/ services**
- Nouvelle stratégie industrielle
- Conclusion

# Choix des technologies

- ❑ En début de programme, afin de limiter les risques d'obsolescence et pour réduire les coûts récurrents
- ❑ Technologies Readiness Level à faire évoluer en anticipation
- ❑ Pour remplacement en cas d'obsolescence
  - Prise en compte de la législation environnementale (REACH)
  - Prise en compte de la santé des entreprises
  - Back-ups à prévoir le cas échéant

# Managing the innovation





# Spin in / Spin out

- ❑ Stratégie commune, approche transversale pour:
  - Bénéficiaire de savoir-faire
  - Communaliser les risques et les coûts.
- ❑ Différences d'approche:
  - Importer une technologie jugée prometteuse d'un autre secteur
  - Valoriser une technologie spatiale dans un autre domaine.
- ❑ Quelques exemples:
  - Spin in analysé: sans fil, fibre optique, GNSS, batteries Li-ion, Al-Li
  - Spin out: pyrotechnie, atténuation dynamique, protection thermique

# Innovation in technology and in production to optimize costs

Design for production & integration



## New technologies

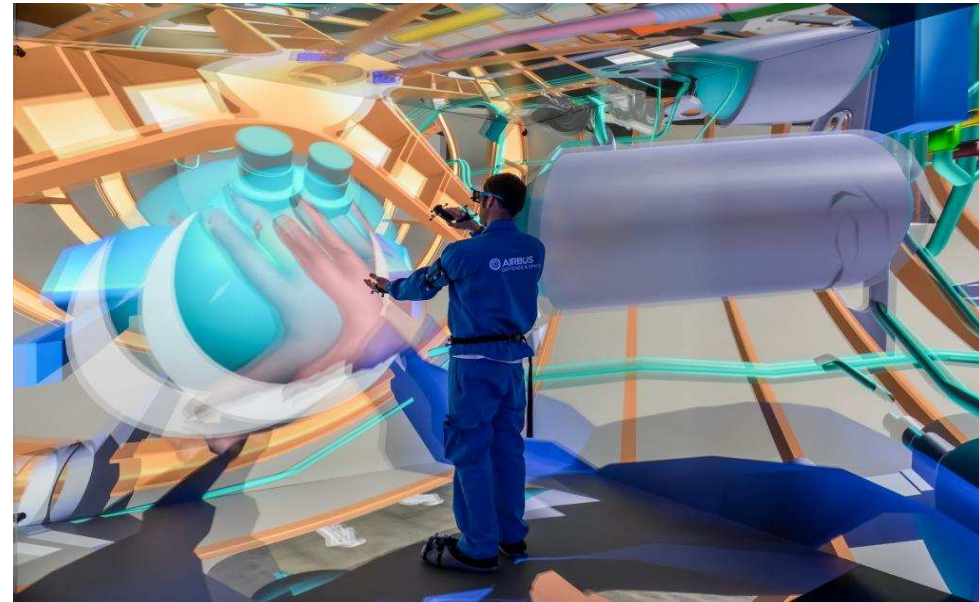
Opto – pyro, Avionics

## New production processes

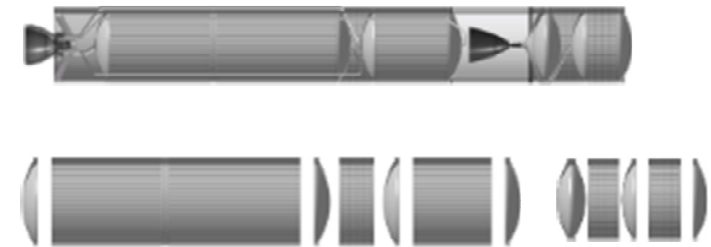
Additive Layer Manufacturing (3D printing)  
Friction-Stir Welding (FSW)



## Augmented reality



## Standardization



# Activité spatiale et gestion des épaves/débris

- ❑ Loi Française sur les opérations spatiales en décembre 2010:
  - Zones protégées < 2000 km et > 200 km
  - Désorbitation ou retombée en <25 ans
  - GEO: Libération vers orbite cimetière de plusieurs siècles
  
- ❑ Programme ESA 1/3 technos, 1/3 contre la prolifération débris, 1/3 « Active Debris Removal »
  - La conception des satellites et derniers étages impactée: réserve ergols pour désorbitation, matériau réservoirs détruits à la rentrée
  - 4 démonstrations 6 mois en 2018 avec rendez-vous, filet ou harpon, puis voile pour accroître la traînée: RemoveDebris, microsats de 100kg lancé de l'ISS avec 2 cubesats
  - Projets OTV, e.Deorbit lancé par Vega : pour 100 M€, étudié par Airbus DS et TAS-I, en 2023?
  - Ensuite Système traitant 10 à 15 débris par mission de 200 à 300 M€?

# Agenda

- Introduction
- Nouveaux concepts/ architectures lanceurs
- Nouveaux services/ technologies
- **Nouvelle stratégie industrielle**
- Conclusion



# Coûts de développement

<u>USA:</u>	18 MD \$ 2015	
APOLLO :	130 MD \$ (09)	de 62 à 69
NAVETTE SPATIALE :	36.5 MD \$ (09)	de 73 à 81
Lanceur lourd SLS:	~10 MD \$ (15)	jusqu'en 2019

<u>ESA:</u>	3.5 MD € / an (1er CNES: 1.4 MD € / an dont ~ 1/2 pour ESA)	
ARIANE 5 + 5E:	9.9 MD € (08)	1984 / 2005
VEGA (65% ASI+Avio)	0.4 MD € (08)	
ARIANE 6	4 MD € (14)	2015 / 2020
	50% France	

## Coopération mondiale :

Coût assemblage + exploitation ISS :	> 106 MD \$ (08)
USA :	75 MD \$
Japon :	10.5 MD \$ ( HTV: 1MD \$ + Module)
ESA :	8.5 MD \$ (Module + Véhicule automatique ATV)
Russie :	5 MD \$ (Modules + Soyouz + Progress)

# La succession de « courbes en S » du spatial

Les trois « vagues » (cycles) de développement du premier « âge » (K-Wave) spatial

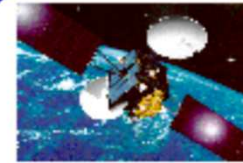


**Niveau de développement**  
Chaque vague est associée à un facteur de développement dominant qui devient le principal moteur de croissance quand les moteurs précédents perdent leur dynamique

**4ème vague : développement spatial en PPP ?**



**3ème vague : Applications commerciales**



**2ème vague : applications militaires**



**1ère vague : science, exploration et vols habités**



1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030

**Premier « âge » spatial**

**Deuxième « âge » spatial**

# SpaceX

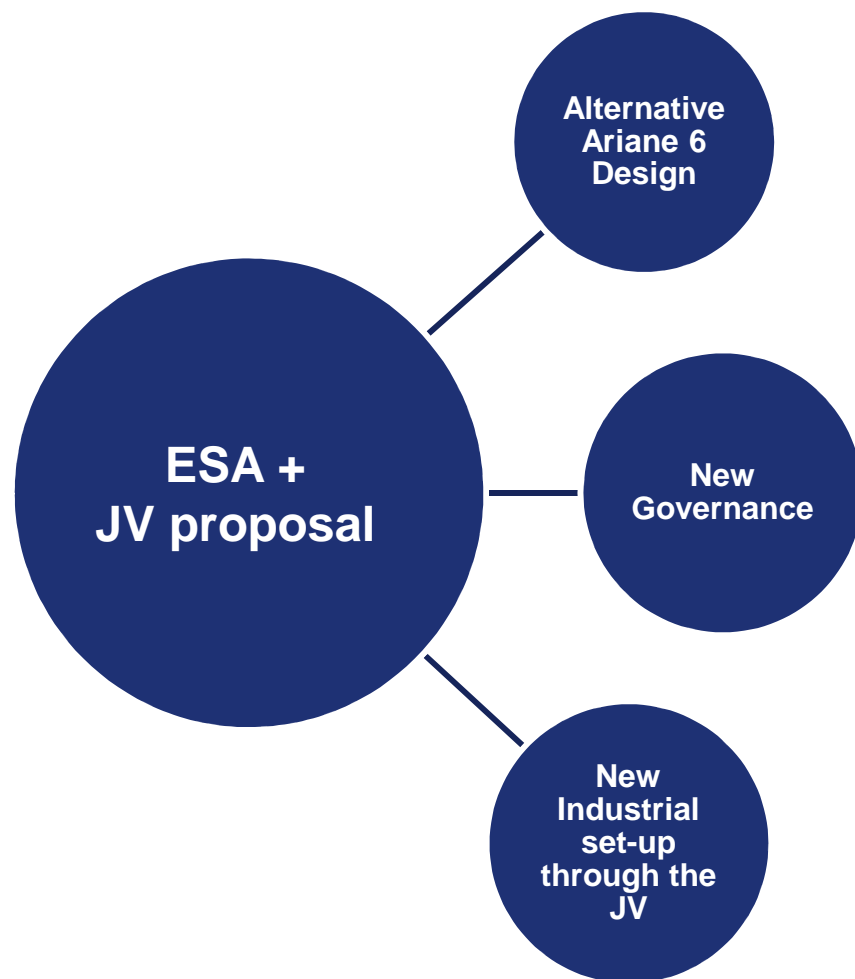


- ❑ Breakthrough on launch costs
- ❑ Argues on a new economical model
- ❑ Simplified industrial model : « plateau & verticalization »
- ❑ Approach fully focussed on industrial efficiency
  - ❑ Design to manufacture
  - ❑ Reduced cycles
  - ➔ Low cost & reliable
- ❑ Spectacular growth
- ❑ Became the main competitor of Ariane 5 on the commercial market, since 2014
- ❑ After an explosion end 2016, Falcon 9 had successful launches in 2017 and 2018 with stages recuperation



# The Airbus-Safran JV

On 16 September 2014, ESA, national agencies and Industry agreed a triple initiative to reshape the European launcher sector in a long term perspective



**Answer to the evolution of market requirements over the next decades with a modular, two-variant offer, based on common building blocks in synergy with Vega.**

**Adapting the partnership between Governments/ESA and industry.**

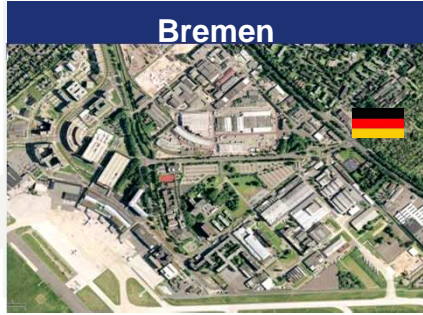
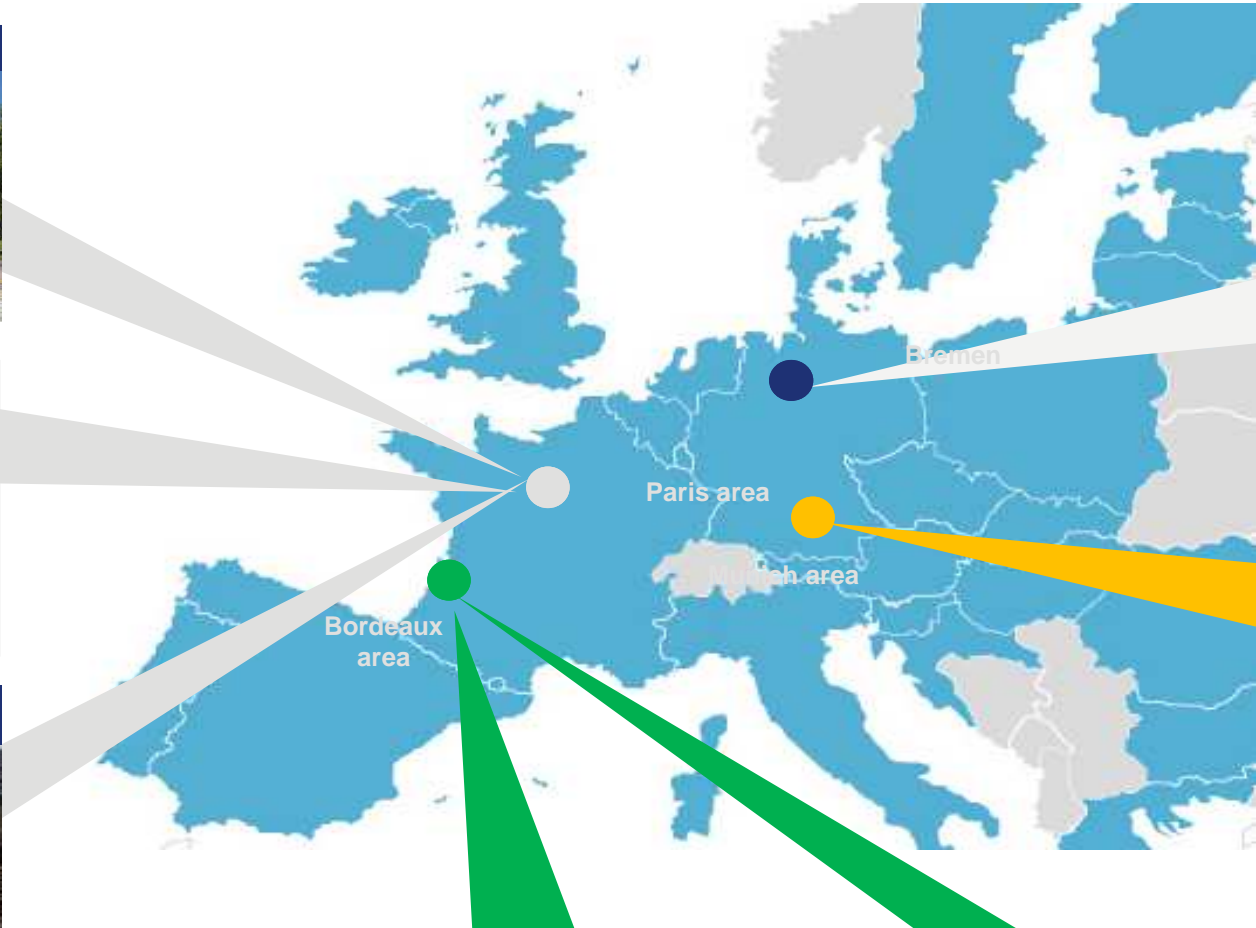
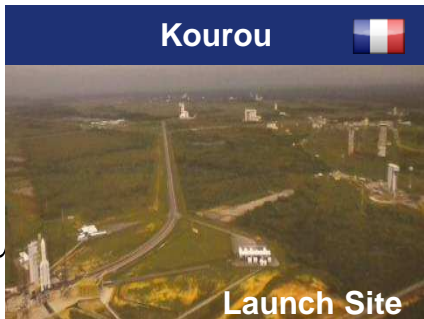
**The two main European launcher industrialists decided to join forces to build a new rationalized and lean industrial organization**



# ARIANEGROUP SITES



**Siège: Paris  
Tour de  
Cristal**



# Industrial Excellence Clusters

**Standardize designs, manufacturing methods, means/tools at launcher level**

**Maximize the use of industrial assets & limit the need for new ones (Common ERP...)**

- Cryotechnical Systems (ground and flight)

- Air Liquide

- Metallic aerostructures, tanks bulkheads & panels → MT-A / ADS-NL (thrust frames)
- Composite aerostructures → CASA
- Fairing → RUAG
- Mechanical ground equipment → APCO
- Avionics → ADS Electronics / CRISA
- Thrust Vector Controls → SABCA
- Electrical harnesses → CASA / CRISA
- Electrical ground equipment → GTD (+Spain), Clemessy
- Antennas
- Pyro
- Batteries
- Thermal protections ...



**Reconciles Geo-Return with Industrial Policy**

- Guiana launcher facilities and control-command benches
- Drive launcher and launch base designs / operational concepts for recurring price
- End-to-end consistency Europe/Guiana: same technical solutions and industrial organization

## Conclusion - Orientations du futur

- ❑ Les lanceurs restent un domaine technologique avancé qui fait rêver les ingénieurs, en R&T, en conception comme en production:
  - ⇒ Nouveaux outils d'ingénierie
  - ⇒ Récupération (partielle),
  - ⇒ Robotique, gestion débris
  - ⇒ Nouvelles propulsions: plus économique, « plus propre »
- ❑ Les problématiques économiques ont développé le besoin d'autres compétences: commercial (chaire HEC), logistique, achat, assurance
- ❑ Enfin les enjeux de demain confirment d'autres besoins: juristes, architectes

## Back-up



# L'architecture des lanceurs

- ❑ Limitation du nombre d'étages : 2 / 3 étages pour la satellisation primaire
  
- ❑ Lanceurs « linéaires » : Etages fixés axialement, plus « rationnels »
  
- ❑ Lanceurs à étages latéraux, pour : réduire la hauteur totale du lanceur
  
- ❑ Lanceurs « fagot » : permet de développer de plus petits étage utilisés en « fagot » pour le premier étage lanceur (Soyouz, lanceur brésilien, ...)
  
- ❑ Lancement à partir d'avions : classe petit ou micro.

# Pegasus

Le lanceur Pegasus (OSC) :  
Masse totale 19T  
Performance en 460/460/SSO : 250 kg  
Performance en 460/460/ 0° : 460 kg

→  $\mu/M_{\text{décollage}}=2.5\%$ , soit ~ 2 fois plus qu'un lanceur classique à poudre de masse voisine, mais au prix d'un lancement aéroporté avec départ  $Z = 12\text{km}$  :

- pression statique limitée : tuyère 1er étage plus performante,
- pression dynamique limitée : charges sur les structures réduites, masse faible (structures composites),
- pertes réduites (traînée, gravité, incidence).

→ Utilisation des ailes 1er étage (contrôle aérodynamique par gouvernes), puis trajectoire inclinée et phase balistique entre 2ème et 3ème étage.

# Space-X family



Falcon 9  
Dragon



Falcon 9  
5.2-m Fairing



Falcon Heavy  
5.2-m Fairing



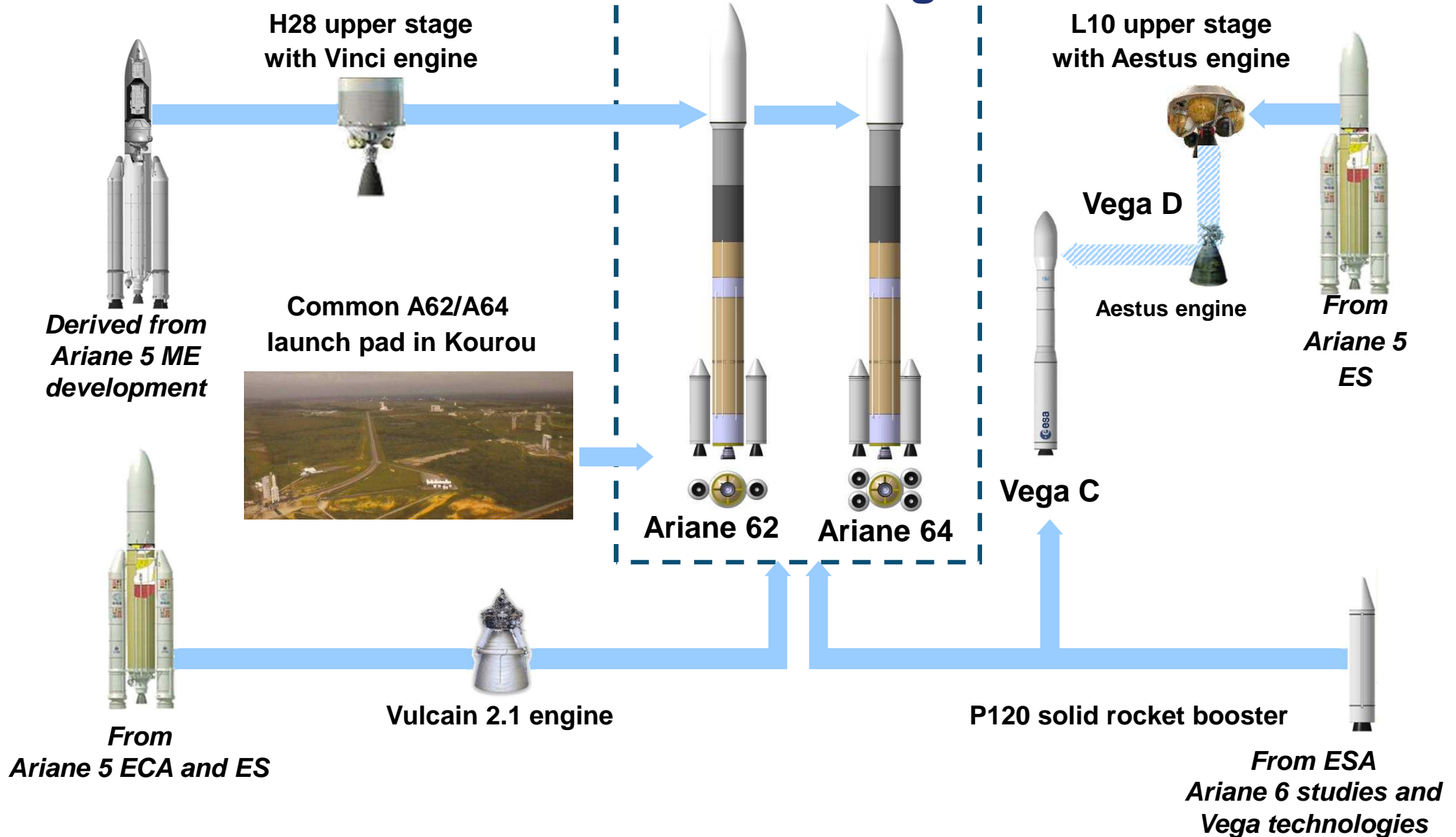
▪ Môme architecture Falcon 1/Falcon 9, môme éléments (à 9 moteurs) de base Falcon9/Heavy

# Main Programmatic Elements



- Provide a full integrated Launch Service, without requiring public funding for the exploitation phase.
- A 62 mainly oriented to “institutional launches” and guaranteeing an independent access to space to Europe
- A 64 for the commercial market
- Recurring Price Targets (including MQO):
  - » A62: 80 M€
  - » A64: 91 M€
- A6 Qualification Flight: 2020



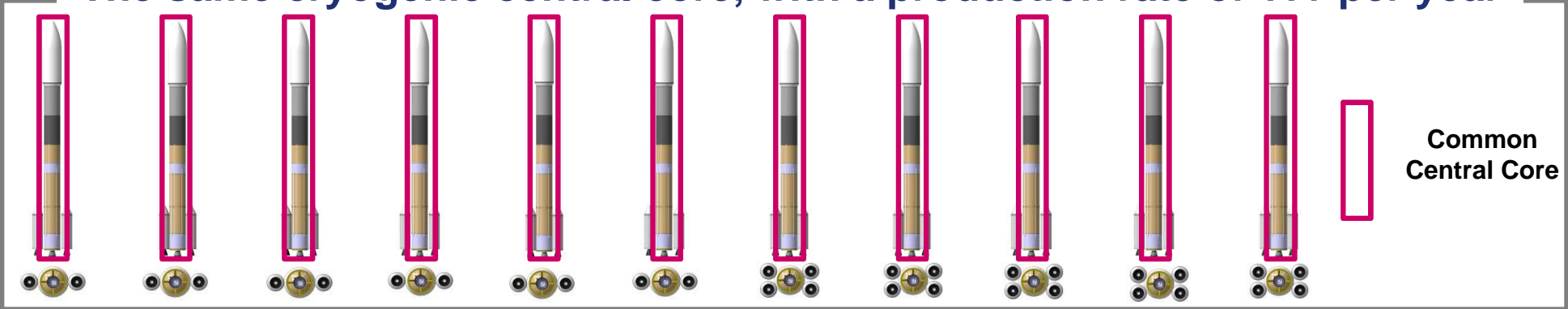
# A new European launcher family, based on common “building blocks”



# Ariane 6: a modular launcher with wide evolution potential

 <p><b>Ariane 62 – 2 boosters</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Up to 5.6 tons to sun-synchronous orbits</li> <li>Non-geostationary missions including satellite constellations (e.g. Galileo)</li> <li>Single launch to geostationary orbit for satellites up to 5.8 tons</li> </ul>	 <p><b>Ariane 64 – 4 boosters</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dual launch to geostationary orbit for satellites of up to 5 tons each</li> <li>Gross performance to geostationary orbit: up to 10.9 tons</li> </ul>
---	--

The same cryogenic central core, with a production rate of 11+ per year



Common Central Core

Solid Rocket Motors P120: production rate of 35+ per year with VEGA-C



3 Solid Rocket Motors per year for VEGA-C

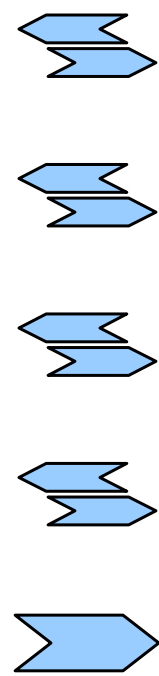
# TRL / IRL definitions

## TRL (Technology Focused)

- 9 Actual Technology **Flight Proven** in Operation
- 8 Actual Technology **Flight Qualified** by Demonstration
- 7 Technology Prototype Demonstration in an **Operational Environment**
- 6 Technology Model or **Prototype Demonstration** in a Relevant Environment
- 5 Component and/or **Breadboard Validation** in a Relevant Environment
- 4 Component and/or Breadboard Validation in **Laboratory Environment**
- 3 Analytical and Experimental Critical Function **Proof-of-Concept**
- 2 **Technology Concept** and/or Application Formulated
- 1 **Basic Principles** Observed and Reported

## IRL (Vehicle Focused)

- 5 **Operational System Fabrication, Launch Completed & Operations Commenced**
- 4 **Prototype/Demonstrator Subjected to Representative Flight Environments**
- 3 **System Physical Mock-up or Prototype Subjected to Ground test Environment**
- 2 **Detailed System Design Analyses Completed**
- 1 **Concept Systems Analyses Completed**



## OBSOLESCENCES

- ❑ Ariane 5 G / ES / ECA : ces versions utiliseront aussi des équipements communs pendant près de 30 ans aussi (près de 45 ans pour le HM7 ou le BMA + RLOx)
- ❑ Ceci se traduit par des problèmes particuliers pour maintenir la Production et le MCO avec des moyens / technos qui vieillissent dans un environnement qui évolue (économique, réglementaire)
- ❑ Arrêt de Production de Matériaux (ex: fibres), Composants (ex: électroniques), Equipements (ex: antennes télécommande MBDA):
  - Evolution du marché, des technologies, des autorisations
  - Restructurations, banqueroutes.
- ❑ Substances interdites à terme par la Politique environnementale:
  - Lors du cycle de Production (Forane, Cr6, Cd, Pb...)
  - Lors de l'utilisation en essais ou en vol (Hydrazine)



# ArianeGroup (2018) at a Glance



## 2.3bn€

est. revenues

## ~ 8300

employees

- Leading European company for space transportation & propulsion systems and services
- Fully-fledged capabilities
  - Civil and Military Launchers design and final integration
  - Solid & Liquid Propulsion Systems  
Energetic Raw Materials
  - Advanced Structures & Space Equipment