

Projet Lanceur ECP 2010

Dimensionnement des étages

A.DUFOUR, F.MARTIN
Propulsive Systems Department

All the space you need



Plan de l'exposé

■ ETAGEMENT ET DIMENSIONNEMENT

- Rappel ΔV et Etagement
- Panoramas des lanceurs
 - Etagement
 - Accélération
 - Dimensions
- Dimensionnement systèmes propulsifs solide
- Dimensionnement systèmes propulsifs liquide

Calculs d'étage

- **Estimation du ΔV propulsif (avec les pertes)**
- **Paramétrages des architectures :**
 - **Nombre d'étages**
 - **Type d'ergols**
- **Optimisation de l'étagement**
- **Choix de la configuration**

Calcul du ΔV

- ΔV propulsif
- DV théorique =
- Pertes
 - Gravité
 - Incidence
 - Aérodynamique

$$\sqrt{\left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a}\right)} - Vi$$

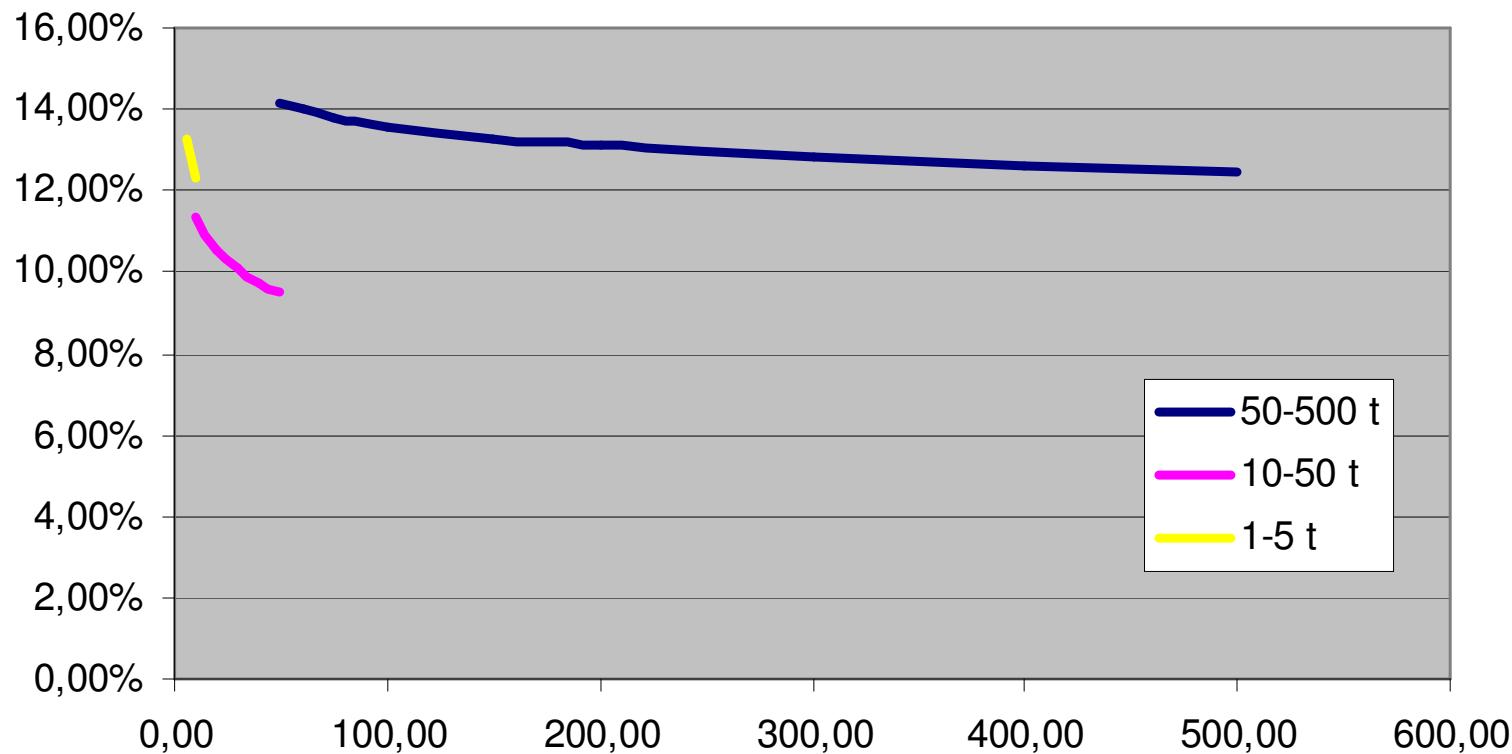
Calculs d'étagements

- **Calcul des indices**
 - **Loi d'indices établis en fonction de la technologie et de la masse d'ergols chargées**
 - **Propergol solide (P)**
 - **Ergols stockables (L)**
 - **Ergols semi-stockables (K)**
 - **Ergols cryotechniques (H)**

Masse en tonnes , indice en %

Calculs d'étagements

■ Indice pour Propergol solide (P)

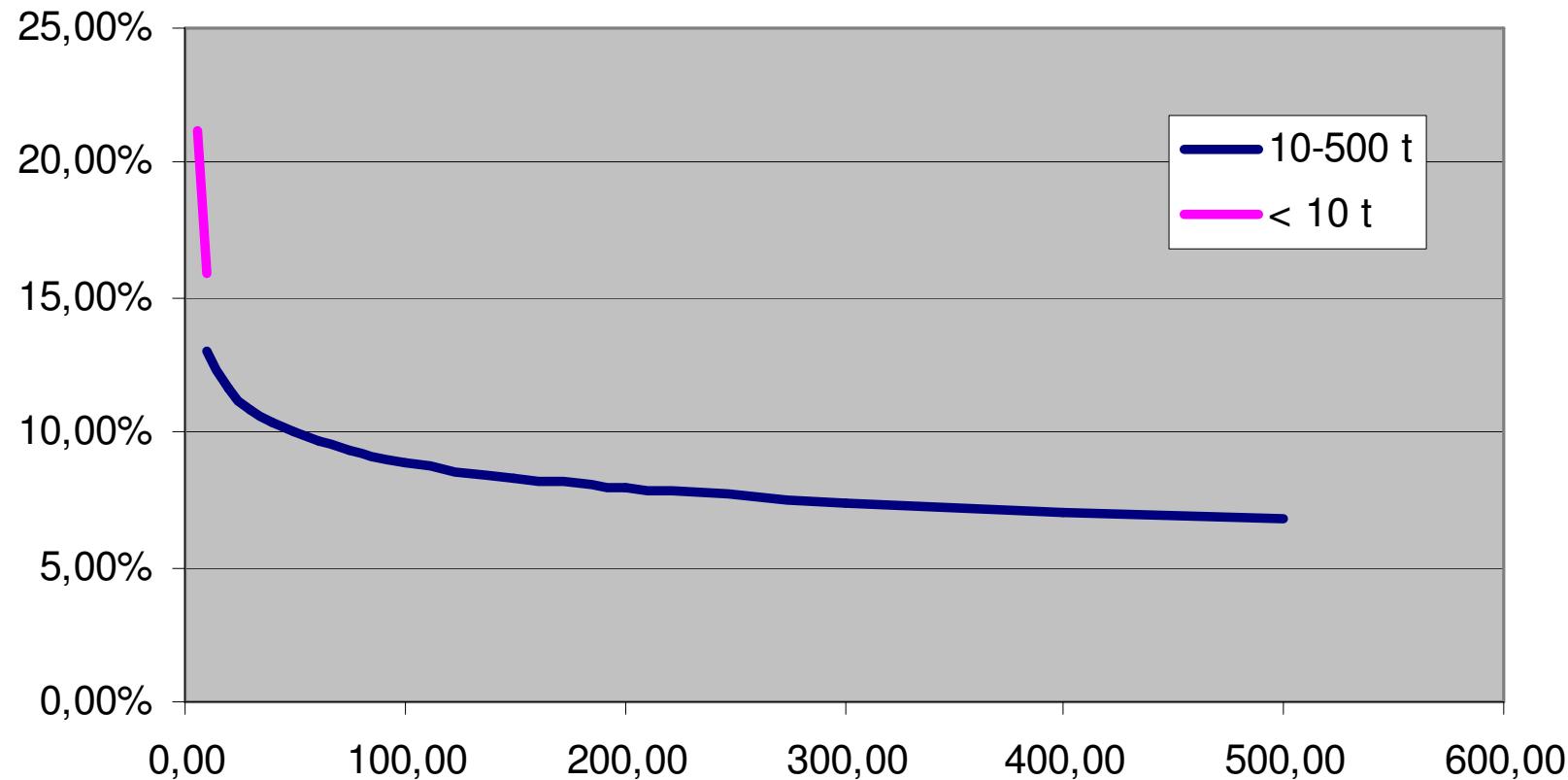


This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

Calculs d'étagements

■ Ergols stockables (L)

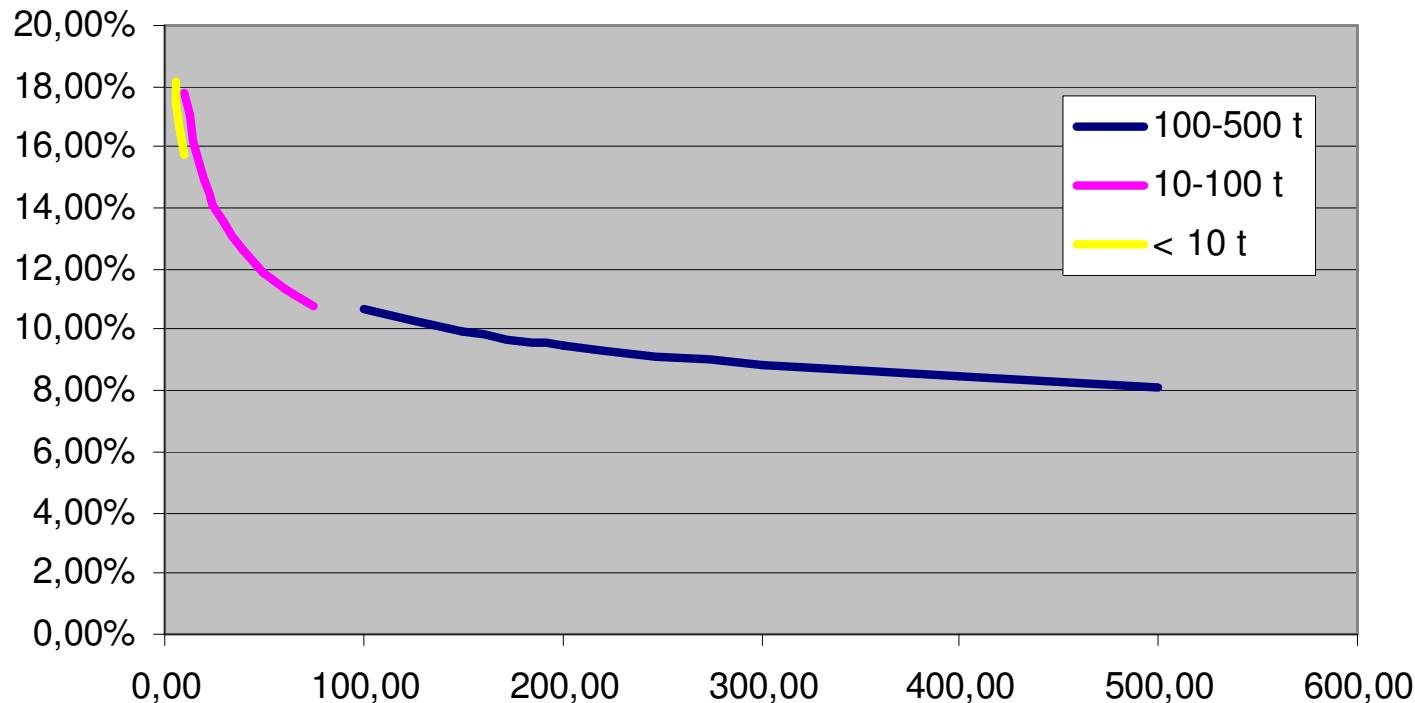


This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

Calculs d'étagements

■ Ergols semi-stockables (K)

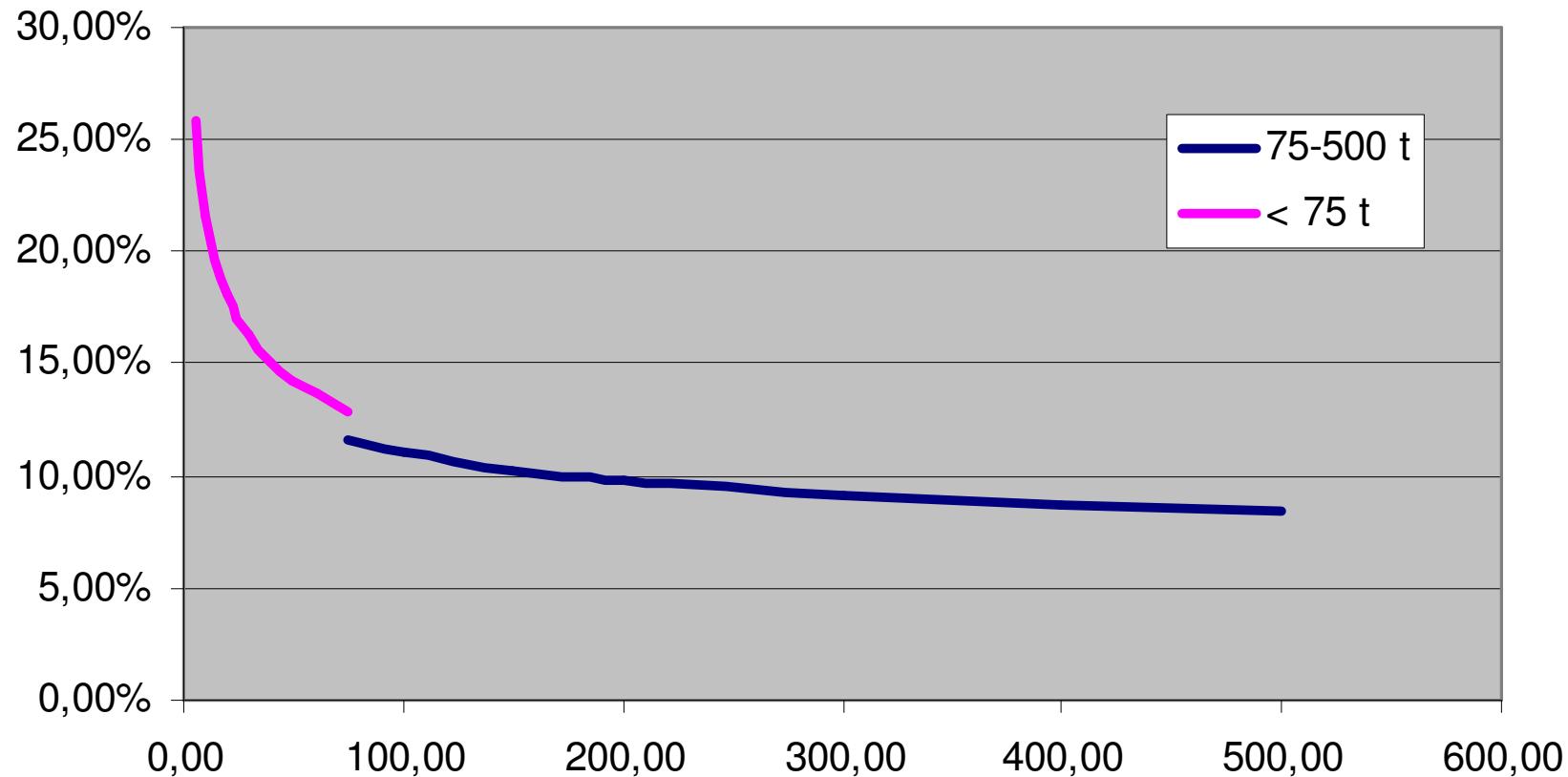


This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

Calculs d'étagements

■ Ergols Cryotechniques (H)



This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

Calculs d'étage

- **Calcul des indices**
- **Nécessité de prendre en compte d'autres éléments**
- **La masse d'ergols chargées n'est pas la masse d'ergols utiles**
- **Prise en compte de 2% supplémentaires pour les résiduels, réserves de performances..... Quel que soit l'étage liquide**
- **Ejection de la coiffe durant le vol 2nd ou 3^{ème} étage : considérer une masse supplémentaire**

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

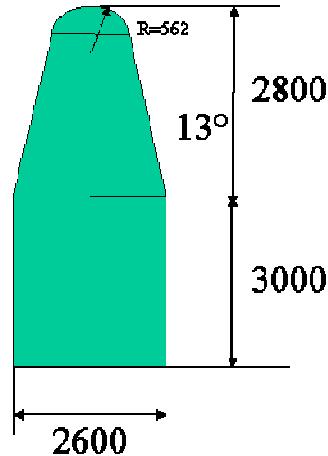


Calculs d'étagements

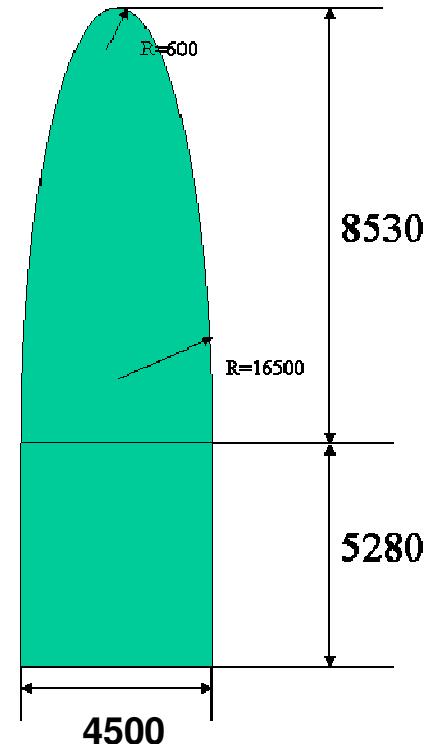
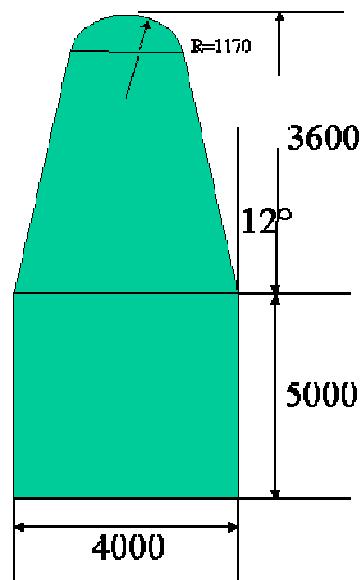
■ Masses de coiffe Mcoiffe = 10 Smouillée (masse en kg)

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

CU < 1.5 t



CU < 5 t



All the space you need

 **ASTRIUM**
AN EADS COMPANY

Calculs d'étagements

- Calcul des impulsions spécifiques
- Isp théorique + rendement (liquide 0.95, solide 0.92)

Section P atm	Chambre	Col	Sortie	Sortie	Sortie	Sortie
	70.0	40.28	1.07	0.43	0.25	0.17
T K	3439	3234	2164	1875	1721	1617
Vson m/s	1082	1046	860	804	772	749
Mach	0.0	1	3	3.46	3.73	3.92
S	/	1.0	10.0	20.0	30.0	40.0
C* m/s	/	1588	1588	1588	1588	1588
Isp vide	/	199.9	288	303.3	310.9	315.8
Isp sol	/	197.6	264.8	257.1	241.5	223.3

Calculs d'étagements

■ Estimation de l'Is_v moyenne trajectoire

	étage	P _c (bar)	Σ	Is _p théorique
solide	1er	70	10	Is _p = 0.5 Is _{sol} + 0.5 Is _{vide}
	2nd	50	40	Is vide
liquide	1er	100/200	Déterminé avec Ps=0.2 à 0.4bar	Is _p = 0.3 Is _{sol} + 0.7 Is _{vide}
	2nd	50/100	100	Is vide

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

LES MICRO LANCEURS

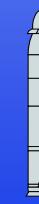
4
3
2
1
0



PEGASUS XL



SHAVIT



MINOTAUR



SHTIL



START 1

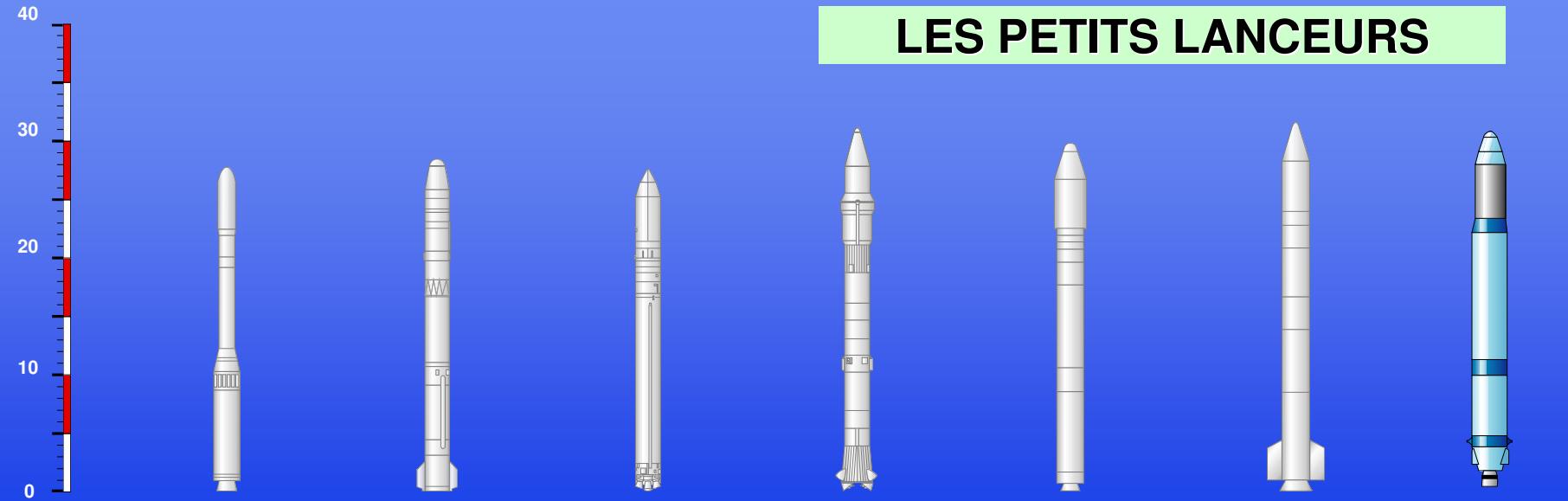


ATHENA 1

Masse initiale (t)	22,5	23	36	40	47	66,5
1 ^{er} étage	P15	P9	P21	L18	P28	P49
2 ^{ème} étage	P4	P9	P6.2	L9	P7,7	P10
3 ^{ème} étage	P0,8	P1,9	P3.9	L2,5	P3,6	L0,2
4 ^{ème} étage	L0,07		P0,7		P2	
Mu (kg) LEO	430	225	640	430	450	700
Per./Apo. (km)	370/370	370/730	185/185	185/185	300/300	370/370
Inclinaison (°)	28,5	143,4	28,5	63	90	28,5

All the space you need

LES PETITS LANCEURS

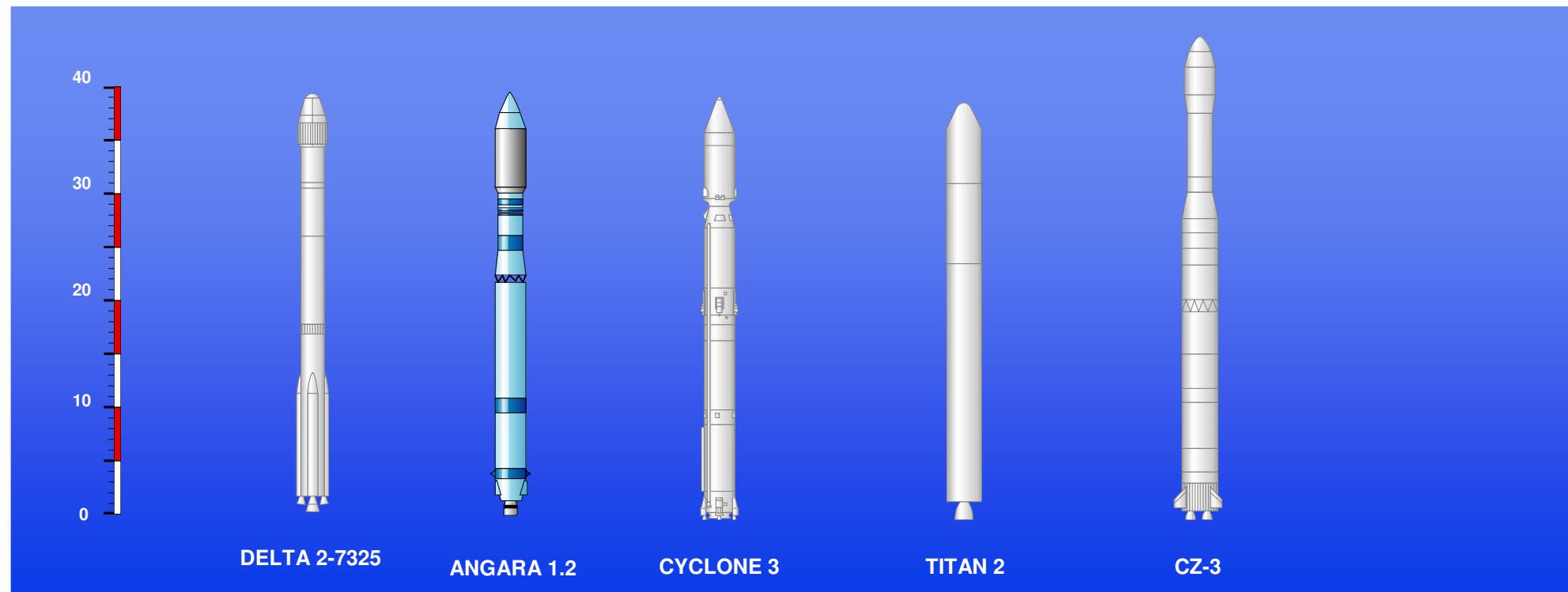


	TAURUS	CZ1-D	ROCKOT	COSMOS	ATHENA 2	M5	ANGARA 1.1
Masse initiale (t)	73	79	107	109	127	129	145
1^{er} étage	P49	L60	L82	L82	P49	P72	K130
2^{ème} étage	P15	L12	L14	L19	P49	P31	L5
3^{ème} étage	P4	P0,6	L5		P9,8	P10	
4^{ème} étage	P0,8				L0,24		
Mu LEO (kg)	1 300	900	1 850	1 300	1 450	1 800	1 700
Per./Apo. (km)	400/400	300/300	200/200	400/400	180/180	250/250	200/200
Inclinaison (°)	28,5	28,5	63	66	90	31	90

All the space you need

LES LANCEURS MOYENS (1)

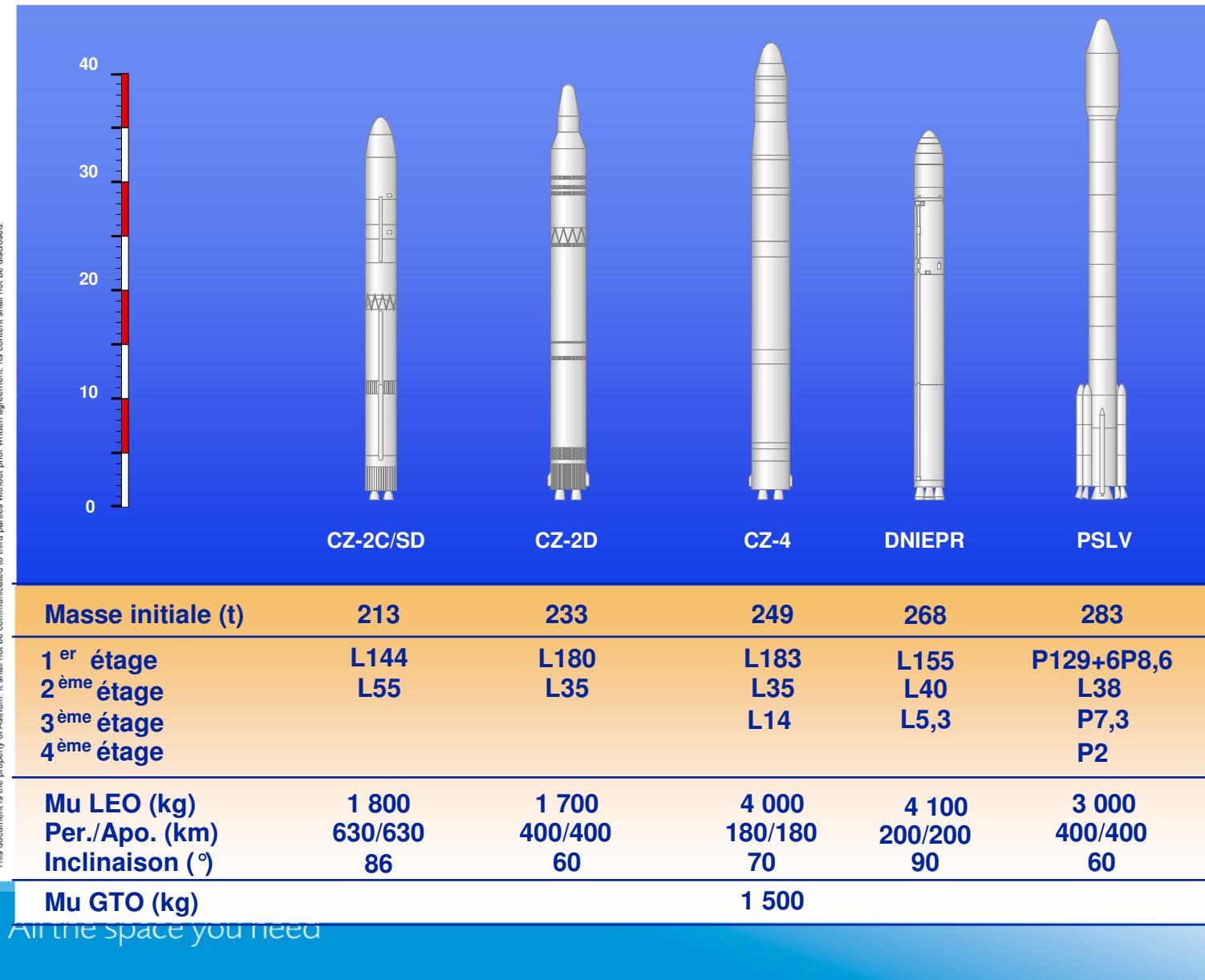
This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.



	DELTA 2-7325	ANGARA 1.2	CYCLONE 3	TITAN 2	CZ-3
Masse initiale (t)	152	170	190	190	204
1^{er} étage	K96+3P12	K130	L119	L128	L142
2^{ème} étage	L6	K23	L48	L58	L35
3^{ème} étage	P2*		L3,2		H8,5
Mu LEO (kg)	2 700	3 400	2 900	2 180	4 500
Per./Apo. (km)	185/185	200/200	600/600	185/185	370/370
Inclinaison (°)	28,5	90	82,5	90	31
Mu GTO (kg)					1 400

All the space you need

LES LANCEURS MOYENS (2)



LES LANCEURS INTERMEDIAIRES

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

	ATLAS 2A	CZ-3A	ARIANE 40	ZENIT 2	ATLAS 3A	DELTA 4 medium	ATLAS V 501
Masse initiale (t)	187	240	245	460	221	250	334
1 ^{er} étage	K156	L170	L170	K319	K183	H200	K285
2 ^{ème} étage	H17	L30	L35	K81	H17	H20	H21
3 ^{ème} étage		H18	H12				
Mu LEO (kg)	7 300			13 700	8 600	7 700	10 300
Per./Apo. (km)	180/180			200/200	180/180	407/407	185/185
Inclinaison (°)	28,5			51	28,5	51,6	28,5
Mu GTO (kg)	3 070	2 500	2 100		4 050	3 900	4 100

All the space you need

LES LANCEURS LOURDS

60
50
40
30
20
10
0



ZENIT 3
Sea Launch



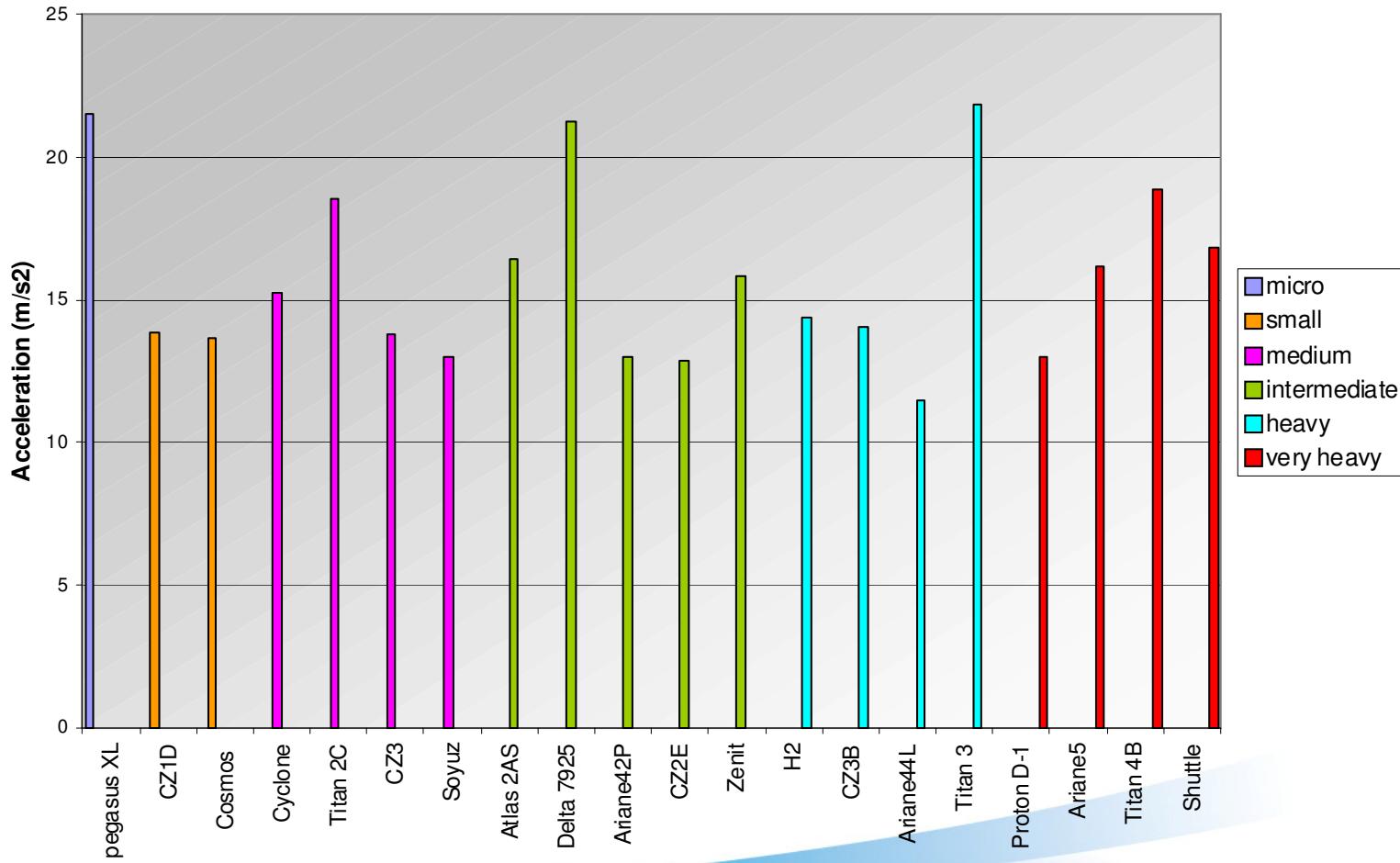
ATLAS V400

Masse initiale (t)	466	334	34	753+161	753+161	7000 GTO
1 ^{er} étage	K319	K285	K27	P650	P650	
2 ^{ème} étage	K81	H21	K4	H160	H160	
3 ^{ème} étage	K15					
Mu (kg) LEO		10750	400	400	10500	8300/SSO
Per./Apo. (km)		185/185	185/185	185/185	200/200	200/200
Inclinaison (°)		90	90	90	28.5	96
Mu GTO (kg)	5 900	5 000	L=22.6, D=1.7m	L=53+27, D=3.7+5.5m	L=55	D=3.3m

Choix des caractéristiques propulsives

■ Accélération au décollage

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

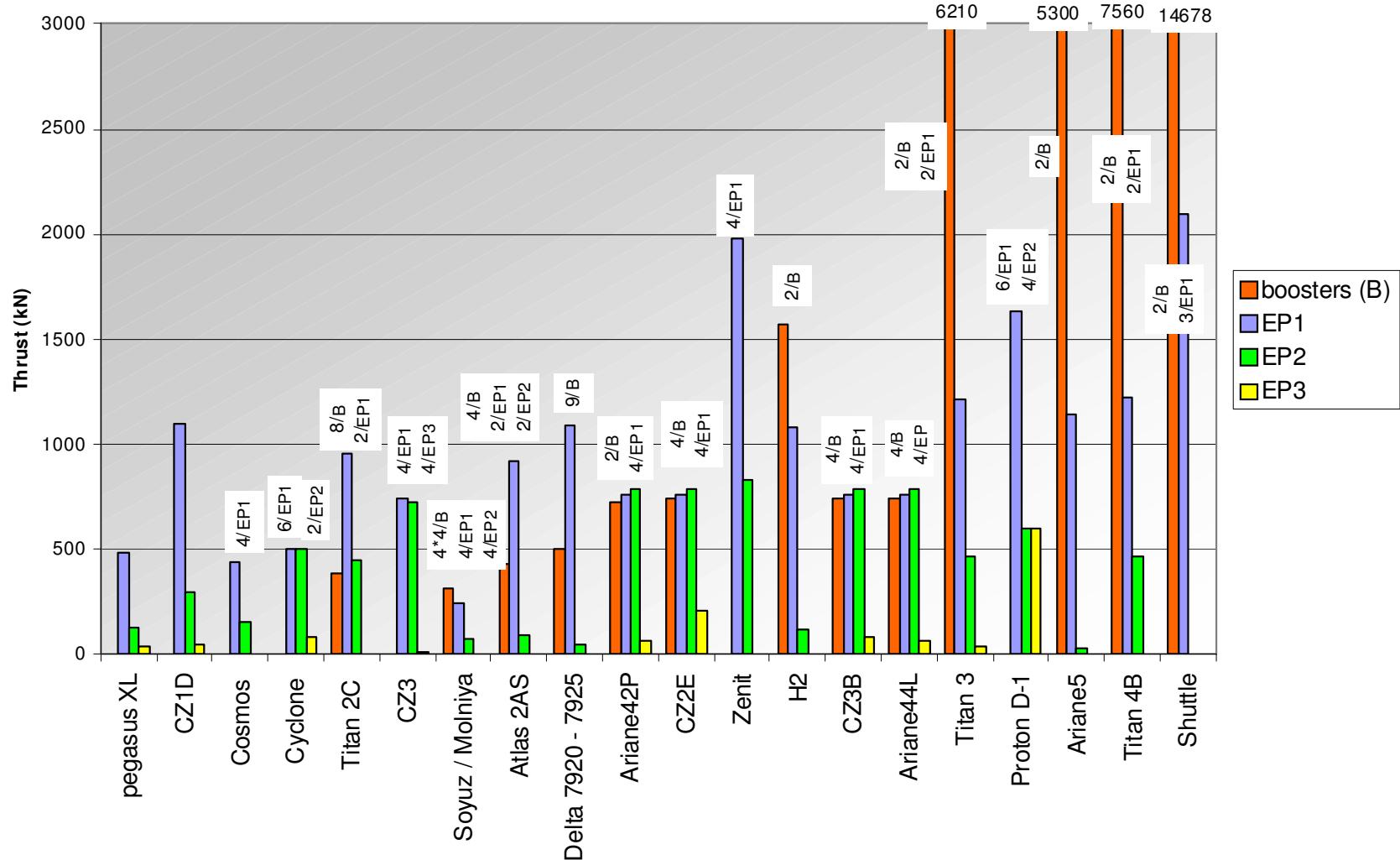


All the space you need

 **ASTRIUM**
AN EADS COMPANY

Choix des caractéristiques propulsives

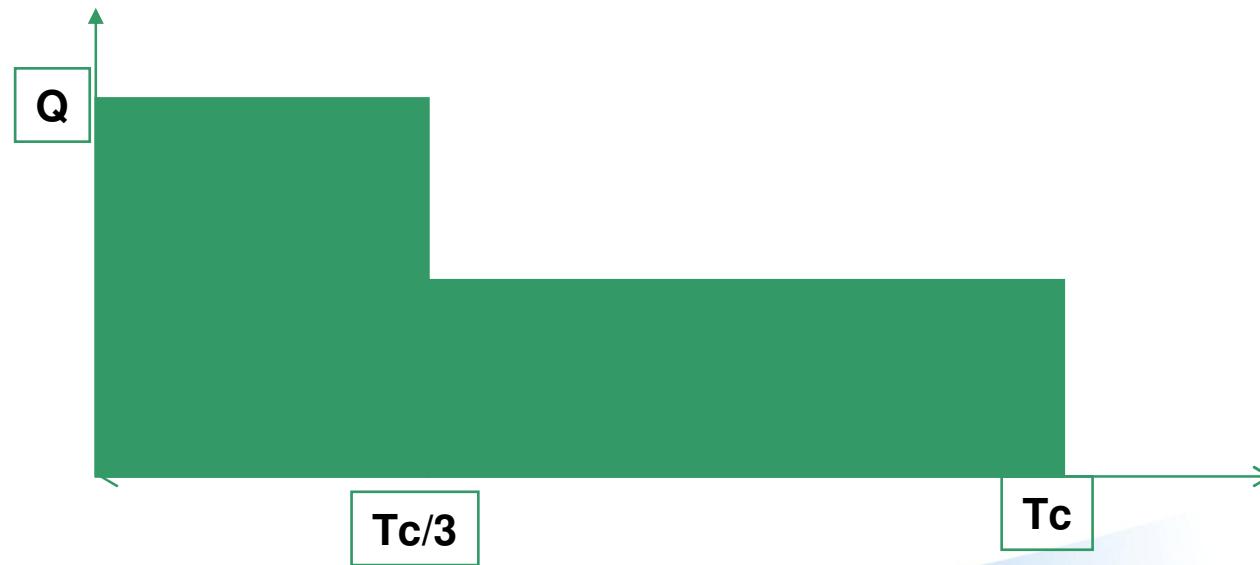
■ Poussée par moteur



Dimensionnement du moteur (pour chaque étage)

- Accélération au décollage : entre 12 et 20 m/s²
- Accélération maximale entre 4 et 5 g
 - Cas de moteur liquide : variation de la poussée (30%)
 - Cas de propulseur solide : loi de débit adaptée

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

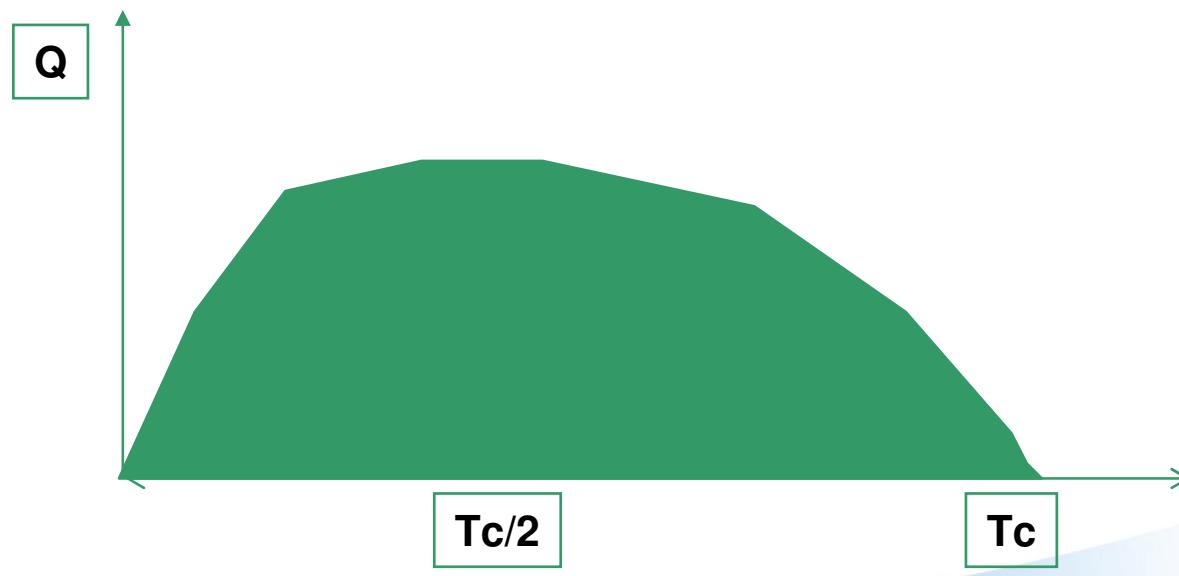


All the space you need

Dimensionnement du moteur (pour chaque étage)

- Accélération étage supérieur : entre 5 et 10 m/s²
- Accélération maximale entre 4 et 5 g
 - Cas de moteur liquide : variation de la poussée (30%)
 - Cas de propulseur solide : loi de débit constante ou adaptée

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.



All the space you need

Dimensionnement du lanceur (pour chaque étage)

- Choix du diamètre
- Choix du niveau de poussée (loi de débit)
- Calcul des volumes d'ergols
- Choix des pressions (réservoirs, combustion)
- Dimensionnement du système propulsif
 - Propulseur solide avec schéma
 - Réservoirs, moteur, pressurisation avec schémas
- Bilan masse

Dimensionnement du moteur à ergols liquides (pour chaque étage)

- Choix de la poussée sol (ou vide si étage supérieur)
- Calcul de la section col
 - $F = Q \times g_0 \times l_{sv} - P_a \times A_s$
 - Choix de la pression
 - Choix du cycle
 - Choix du rapport de section
 - $Q = (F + P_a \times A_s) / g_0 / l_{sv}$
 - $A_c = Q / P_c * C^*$
- » Boucle à effectuer (cas d'un premier étage)

Dimensionnement du moteur à ergols liquides (pour chaque étage)

■ Estimation des rendements en fonction du cycle

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

Ergols	Pression	η
Générateur de gaz	$P < 120$ bars	0.92(L),0.93(K,C),0.94 (H)
Expander	$P < 60$ bars	0.96(H,C)
Combustion Etagée	$P > 120$ bars	0.94(L),0.95(K,C),0.96 (H)

All the space you need



Dimensionnement du moteur à ergols liquides (pour chaque étage)

- Dessin de la chambre
- A partir de la section de col (Ac)

$$\frac{A_{ch}}{A_c} = 8D_c^{-0.6} + 1.25$$

Dc en cm !!!

$$L_{ch} = L_* \times \frac{A_c}{A_{ch}}$$

Ergols	L*
Stockables (L)	0.76-0.89
½ Cryo (K,C)	1.02-1.27
Cryo (H)	0.76-1.02

Dimensionnement du moteur à ergols liquides (pour chaque étage)

- **Dessin de la tuyère**
- **A partir de la section de col (Ac)**

- **Angle du divergent**
 - **Divergent pour Premier étage entre 18 et 22**
 - **Divergent pour Etage supérieur entre 25 et 30**

Dimensionnement du moteur à ergols liquides (pour chaque étage)

■ Masse du moteur

Type de moteur	f
Ergols stockables avec TP	(F+1410)/23
Ergols stockables sans TP	(F+11)/1.54
Lox / Kérosène F< 3000	(F+782)/20
Lox / Kérosène F> 3000	110
F< 100 (LOX/LH2)	(F-22)/1.2
100 < F< 1000 (LOX/LH2)	(F-22)/1.5
1000 < F < 2000 (LOX/LH2)	70
F> 2000 (LOX/LH2)	60

$$M = F * 1000 / f / g_0$$

F en kN

Dimensionnement des réservoirs ergols liquides

- **Volume des réservoirs**
- **A partir du calcul d'étagement**
 - **Masse d'ergols chargés**
 - **Rapport de mélange**
 - **Calcul de la masse comburant et carburant**
 - **Volume des ergols chargés**
 - **Volume mort , ... (~ 5 %)**

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

Dimensionnement des réservoirs ergols liquides

- Pression des réservoirs
- A partir du NPSP
 - Estimation des pertes de charges
 - Calcul de la pression réservoir en fin de vol
 - » Pres = NPSP - $\rho \times \gamma \times h + \Delta P$ ligne + Pvapeur saturante(Tfin de vol)

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

Ergols	Tfin	NPSP Carburant/Comburant
Stockables (L)	298	3.5 / 5 bars
½ Cryo (K)	298 / 92	2.2 / 2.5 bars
Cryo (H)	22 / 92	1.1 / 2.2 bars

All the space you need



Dimensionnement des réservoirs ergols liquides

- Pressurisation
- A partir de la pression en fin de vol et du volume

$$m_{gp} = \frac{P_T \times V_T \times M_{mol}}{R \times T_g}$$

60 % à ajouter si Hélium !!

$$T_g = (T_i \text{ (injection)} + T_{eb})/2$$

Ergols	Ti (K)	Teb (K)
Azote	300	Fonction de l'ergol
Hélium	300	
GOX	300	
GH2	150	

Dimensionnement du moteur à propergol solide (pour chaque étage)

- Choix de la poussée sol (ou vide si étage supérieur)
- Calcul de la section col
 - $F = Q \times g_0 \times l_{sv} - P_a \times A_s$
 - Choix des pressions maximale et moyenne (1 : 0.7-0.8, sup : 0.8-0.9)
 - Choix du rapport de section
 - $Q = (F + P_a \times A_s) / g_0 / l_{sv}$
 - $A_c = Q / P_c * C^*$
 - $T_{cu} = M_p / Q$
 - Vérification vitesse de combustion = $D * 0,85 / 2 / t_{cu}$
(entre 7 et 20 mm/s)
 - » Boucle à effectuer (cas d'un premier étage)

Dimensionnement des corps de propulseur solide

- **Volume des corps de propulseur**
- **A partir du calcul d'étagement**
 - **Masse de propergol**
 - **Volume du propergol**
 - **Coefficient de remplissage**

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

Type	Eb/d	Cr	Loi Surface
Axisymétrique	0.5-0.9	0.85-0.95	Variable
Etoile	0.3-0.6	0.75-0.85	=
Finocyl	0.6-0.9	0.85-0.95	➔,=

All the space you need

Dimensionnement du moteur à ergols liquides (pour chaque étage)

- **Dessin de la tuyère**
- **A partir de la section de col (Ac)**
- **Angle du divergent**
 - Divergent pour Premier étage entre 16 et 20
 - Divergent pour Etage supérieur entre 20 et 25
- **Rapports de section**
 - De 15 (premier), 25 (second) à plus de 50 (>2)

Sorties attendues

- **Hypothèses de dimensionnement**
 - Matériaux, Ergols, Poussée et Pressions
- **Aménagement général (Vue 2D)**
- **Bilan masse détaillé (voir polycopié)**

Postes d'un bilan masse étage liquide (1/2)

■ Systèmes Propulsifs (fonctionnel)

- Moteur
- Pressurisation :
 - fluides, réservoirs, échangeurs, platines, lignes, équipements divers
- Réservoirs :
 - Peaux, protections thermiques, cadres, jupettes, soudures, renforts
 - Equipements : anti-vortex, anti-ballottants, sondes, capteurs
 - Divers : peinture,
- Ergols
 - Résiduels géométriques et thermiques,
 - Réserves de performances
 - Vaporisés / Dégazés / Ejectés
- Systèmes alimentation
 - Lignes, soufflets, vannes, calibrages, supports lignes, système anti-pogo

Postes d'un bilan masse étage liquide (2/2)

■ Etages (structure et équipements)

- Jupes
- Bâti moteur
- Inter-Réservoirs
- Supports réservoirs et/ou sphères pressurisation
- Supports équipement
- Equipements (électriques, pyrotechniques....)
- Systèmes de séparation
- Gouttières
- Système de Contrôle d'attitude
- Thrust Vector Control (vérins, groupe de puissance)

Postes d'un bilan masse étage solide (1/2)

■ Systèmes Propulsifs (fonctionnel)

- Corps de propulseur
- Ensemble Arrière
- Aménagements internes
 - protections thermiques
 - liner
 - Peaux décollées
- Allumeur
- Cadres, Jupettes
- Protections thermiques externes
- Propergol
- Equipements

Postes d'un bilan masse étage solide (2/2)

■ Etages (structure et équipements)

- Jupes
- Supports équipement
- Equipements (électriques, pyrotechniques....)
- Systèmes de séparation
- Gouttières
- Thrust Vector Control (vérins, groupe de puissance)

Postes additionnels pour bilan masse (1/1)

■ Lanceurs

- Case à équipements
- Coiffe
- Adaptateur CU

This document is the property of Astrium. It shall not be communicated to third parties without prior written agreement. Its content shall not be disclosed.

All the space you need

