



arianeGROUP

Introduction à la Navigation, au Guidage et au Pilotage des Lanceurs

Gérald Pignié

Expert Emérite

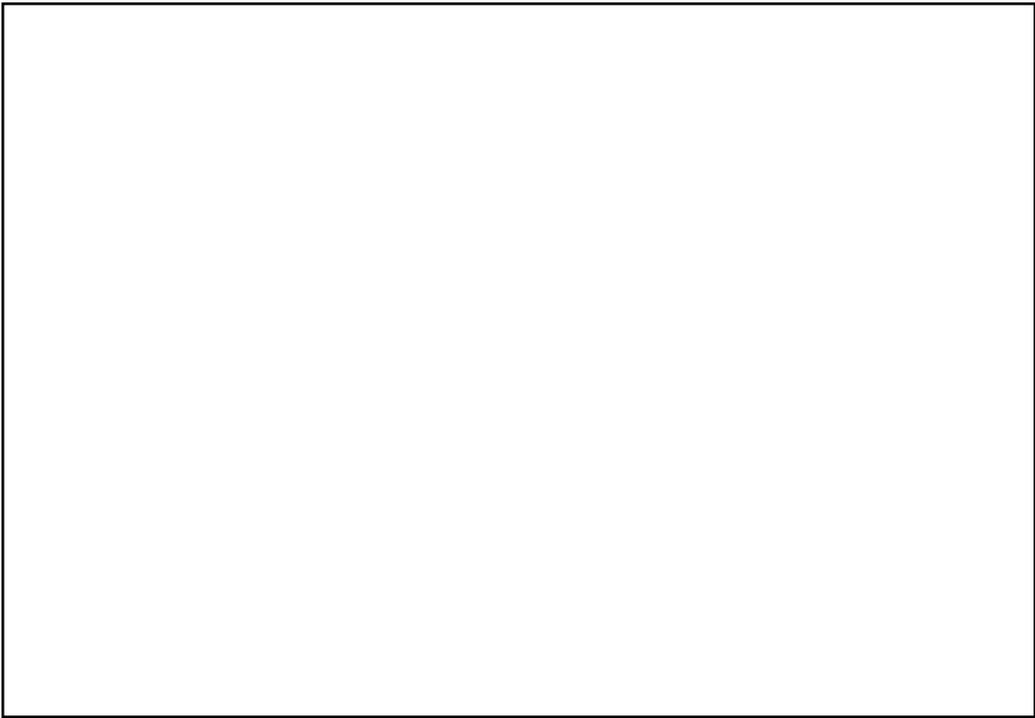
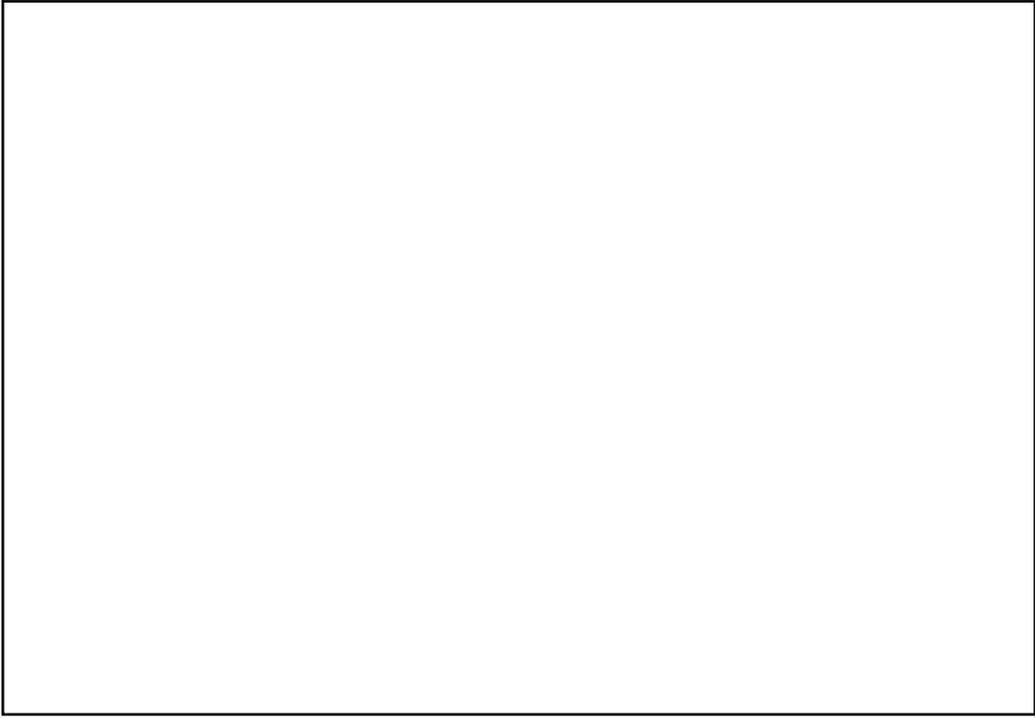
Inspection Générale
Systèmes & Véhicules



Généralités sur le GNC



Juin 2019



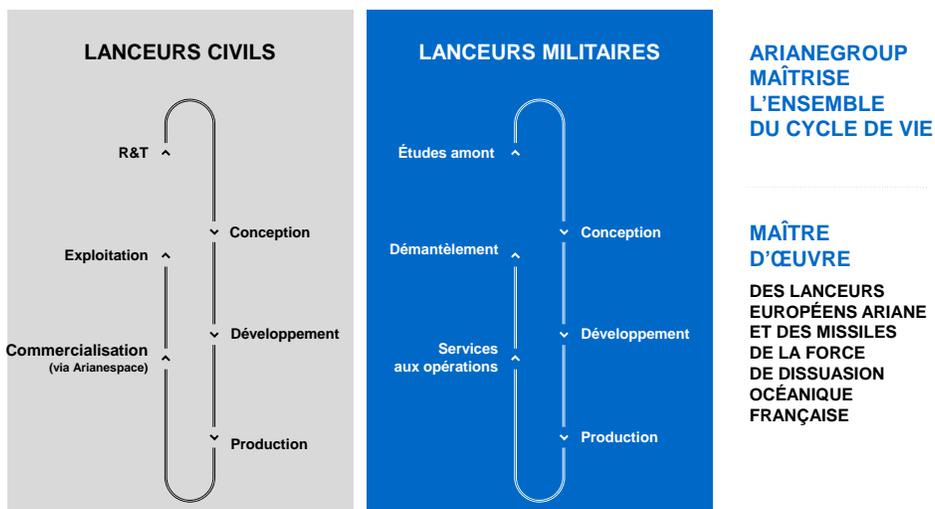
ArianeGroup : Qui sommes nous?



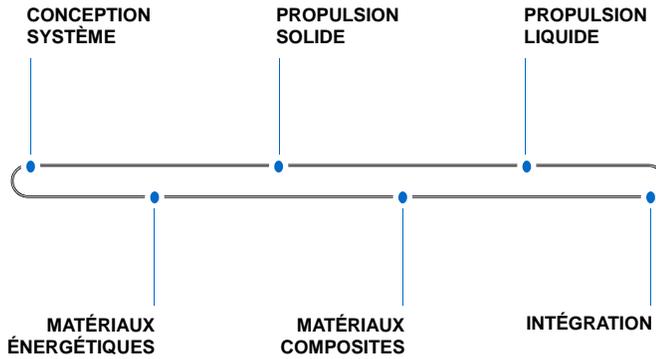
LEADER MONDIAL DE L'ACCÈS À L'ESPACE



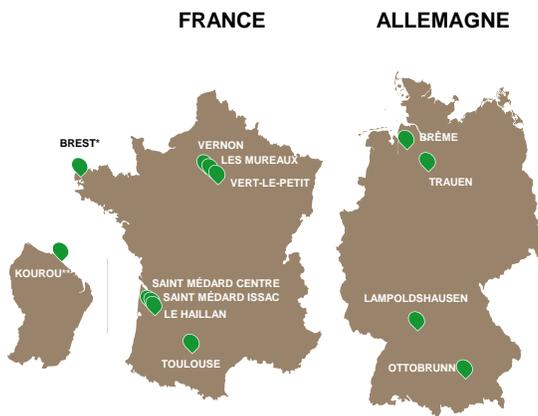
LANCEURS SPATIAUX CIVILS ET MILITAIRES UN SAVOIR-FAIRE UNIQUE



UNE MAÎTRISE DES TECHNOLOGIES CRITIQUES LES PLUS AVANCÉES



IMPLANTATIONS



*Détachement sur le site de la Marine nationale à l'île Longue
**Implantations sur le Centre Spatial Guyanais (CSG)

FILIALES

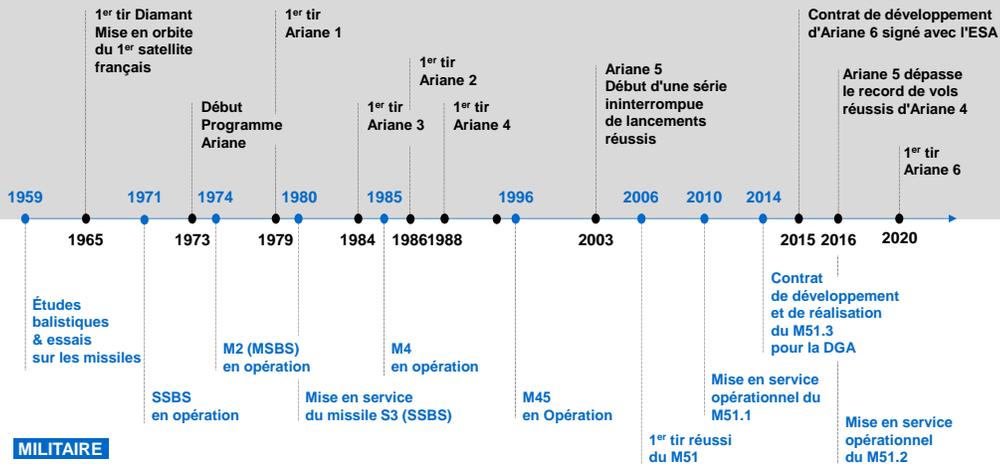
- APP**
Klundert (Pays-Bas)
- Arianespace**
Kourou, Evry, Washington DC (États-Unis), Singapour, Tokyo (Japon)
- Cilas**
Orléans, Mont Audouze, Le Barp, Aubagne
- Eurockot**
Brême (Allemagne)
- Nuclétudes**
Les Ulis
- Pyroalliance**
Les Mureaux, Toulon
- Sodern**
Limeil-Brévannes

PARTICIPATIONS

- Europropulsion**
Suresnes, Kourou
- Euro Cryospace**
Les Mureaux
- Regulus**
Kourou
- Starsem**
Evry

UNE FORTE DUALITÉ CIVILE ET MILITAIRE AU CŒUR DE NOS PERFORMANCES

CIVIL



MILITAIRE



Université Paris Saclay Space Obs Généralités sur le GNC Juin 2019

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.

LANCEURS SPATIAUX

ARIANE 5 LA RÉFÉRENCE

Son « track record » fait d'Ariane 5
le lanceur le plus fiable au monde

Ariane 5 ECA peut lancer plus de dix tonnes en orbite de transfert géostationnaire et conserve, année après année, sa place de numéro 1 mondial pour la mise à poste des satellites de télécommunications

Ariane 5 ES a été la réponse la mieux adaptée au lancement des missions en orbite basse ou moyenne, comme la desserte de la Station Spatiale Internationale (ISS) ou le déploiement de la constellation Galileo

600
ENTREPRISES EUROPÉENNES
INTERVENANT SUR ARIANE 5

SUCCÈS ININTERROMPUS DEPUIS
2003

JUSQU'À 10,5 t
DE CHARGE UTILE EN ORBITE
DE TRANSFERT
GÉOSTATIONNAIRE (GTO)



© ESA-CNES-ARIANESPACE/Space Video du CSG



Université Paris Saclay Space Obs Généralités sur le GNC Juin 2019

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.

15

Ariane 5 L5107 / VA248 20 Juin 2019



La performance totale demandée au lanceur était de 10 594 kg, dont 9736 kg pour les deux satellites.

Les charges utiles ont été injectées sur une orbite inclinée de 6° par rapport à l'équateur.

© 2019 ESA-CNES-ARIANESPACE/Space Video du CSG - S. MARTIN

ARIANE 6 UN LANCEUR POLYVALENT POUR TOUTES LES MISSIONS

Une polyvalence inédite

- Un lanceur, 2 versions : Ariane 62 et 64
- Deux types de coiffes et de nombreuses configurations
- Pour lancer toutes missions vers toutes les orbites

13
PAYS
EUROPÉENS
IMPLIQUÉS



Une efficacité industrielle maximum

- Des coûts de production réduits pour une meilleure compétitivité

2 ou 4
BOOSTERS

PREMIER VOL
2020

JUSQU'À
12 t
DE CHARGE
UTILE EN ORBITE
DE TRANSFERT
GÉOSTATIONNAIRE (GTO)

JUSQU'À
12
LANCEMENTS
PAR AN



Université Paris Saclay Space Obs Généralités sur le GNC Juin 2019

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.

17

ARIANE 6 FLEXIBILITÉ INÉDITE, MODULARITÉ ET COMPÉTITIVITÉ

ARIANE 62 (2 BOOSTERS)

Performance
4,5-5 t GTO
Masse au décollage 530 t
Poussée
816 t



Coiffe
Hauteur : 14 ou 20 m
Ø 5,4 m

Système Lancement Double
Ø 4,5 m utiles

Moteur Vinci ré-allumable
Poussée : 18 t

2 ou 4 boosters P120C
(commun avec Vega C)
Poussée : 459 t

Moteur Vulcain 2.1
Poussée : 140 t



ARIANE 64 (4 BOOSTERS)

Performance
12 t GTO
Masse au décollage 860 t
Poussée
1 530 t



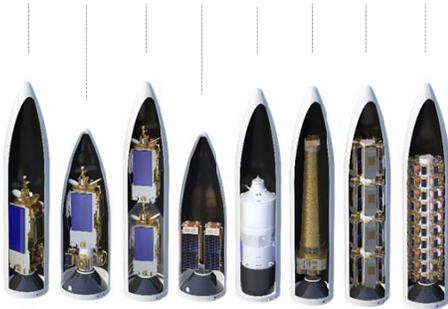
Université Paris Saclay Space Obs Généralités sur le GNC Juin 2019

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.

18

ARIANE 6 TOUTES MISSIONS COMMERCIALES ET INSTITUTIONNELLES

Lancement simple
Charge utile principale
et auxiliaire(s)
Lancement double
Config. 2 charges utiles
Missions lourdes LEO
Grands satellites scientifiques
Constellations LEO
Mega constellations LEO



 **ariane**GROUP

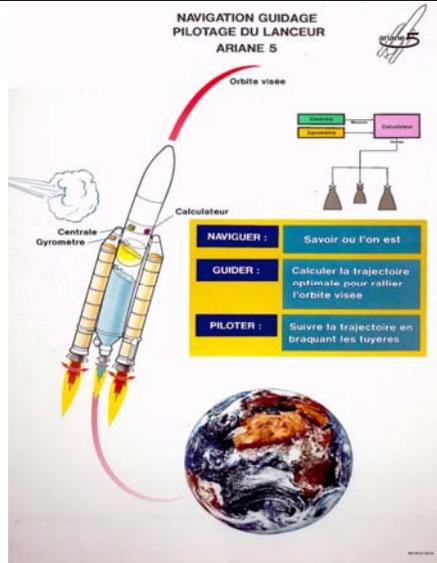
THIS DOCUMENT AND ITS CONTENTS ARE PROPERTY OF ARIANEGROUP.
IT SHALL NOT BE COMMUNICATED TO ANY THIRD PARTY WITHOUT THE OWNER'S
WRITTEN CONSENT | ARIANEGROUP SAS - ALL RIGHTS RESERVED.

Université Paris Saclay Space Obs Généralités sur le GNC Juin 2019

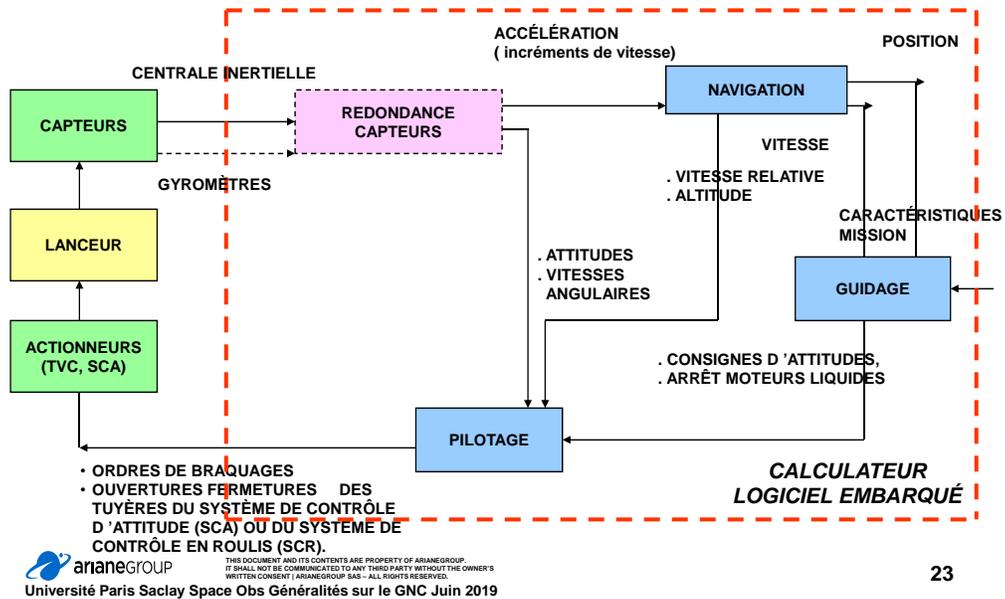
CHAÎNE DE GUIDAGE – NAVIGATION - PILOTAGE

- DÉCOMPOSITION FONCTIONNELLE
- RÔLE DES DIFFÉRENTES FONCTIONS
- ÉLÉMENTS MATÉRIELS DES CHAÎNES DE GUIDAGE - NAVIGATION - PILOTAGE
- *ILLUSTRÉ SUR LE CAS DU LANCEUR ARIANE 5*

NAVIGATION, GUIDAGE, PILOTAGE DU LANCEUR ARIANE 5



SCHEMA DE PRINCIPE DE NAVIGATION-GUIDAGE-PILOTAGE DU LANCEUR ARIANE 5



23

NAVIGATION INERTIELLE

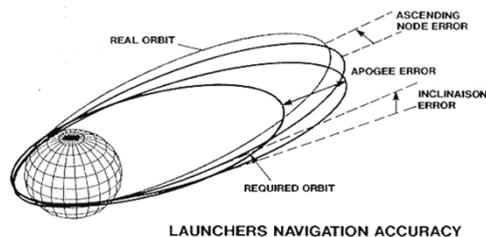
OBJECTIF DE LA NAVIGATION

FURNIR LA POSITION ET LA VITESSE A PARTIR DES MESURES DE LA CENTRALE INERTIELLE, ÉVENTUELLEMENT HYBRIDÉE AVEC D'AUTRES CAPTEURS (GPS)

NÉCESSITE DE CALCULER LA GRAVITE EN NAVIGATION INERTIELLE

Utilise les mesures des accéléromètres rapportées en axes inertiels (fournies par la centrale inertielle), pour estimer l'accélération spécifique ($I-g$), et calcule la gravité pour intégrer la trajectoire.

PERFORMANCES TYPIQUES



Orbital Parameters (GTO orbits)	Ariane 5 User's Manual Requr. (3 σ)	Computed Standard Deviation (ASE/CA)	Actual Flight Results* A5/S V-509 EURO-BIRD & BSAT 2A
Semi-major axis	a	36.5 km	
Orbit eccentricity	e	0.00039	0.0003
Altitude of Perigee	z_p	3 km	1.4 km
Altitude of Apogee	z_a	156 km	45.5 km
Orbit Inclination	i	0.06°	0.013°
Argument of Perigee	ω	0.187°	0.423°
Longitude of Ascending Node	Ω	0.186°	0.439°

Remarque : $\sigma = 4$ KM SUR L' APOGÉE D' UNE TRAJECTOIRE LEO

Sur Ariane 6, une navigation inertielle pure, avec une centrale inertielle à gyromètres GRH, développée par SAFRAN Electronics & Defense, a été choisie.

GUIDAGE

OBJECTIF DU GUIDAGE

CALCULER EN VOL LE SCÉNARIO DE MANŒUVRE ET LA TRAJECTOIRE FUTURE DU LANCEUR, POUR INJECTER LES CHARGES UTILES SUR L'ORBITE DÉSIRÉE, AVEC UNE BONNE PRÉCISION, ET EN RESPECTANT LES CONTRAINTES INTERMÉDIAIRES SUR LA TRAJECTOIRE.

ENTRÉES

- . INFORMATIONS DE LA NAVIGATION (X, V, G)
- . ORBITES VISÉES (OBJECTIFS DE LA MISSION)
- . CARACTÉRISTIQUES DU LANCEUR (PROPULSION : DÉBIT/ISP, MASSES, ...)

COMMANDES

- . LES CONSIGNES D'ATTITUDE VERS LE PILOTAGE (ORIENTATION DE LA POUSSÉE)
- . LES COMMANDES D'ARRÊT DES MOTEURS À PROPULSION LIQUIDE

CONTRAINTES

- . CONSOMMATIONS D'ERGOLS (SURCONSOMMATION / ANALYSE MISSION)
- . PRÉCISION D'INJECTION
- . FLUX THERMIQUE AU LARGAGE COIFFE
- . VISIBILITÉ PAR LES STATIONS SOL (« INTERVISIBILITÉ »)
- . SAUVEGARDE AU LANCEMENT (PAR EXEMPLE, GESTION DE LA RETOMBÉE EPC POUR ARIANE 5)

CRITÈRES

- . CONSOMMATIONS D'ERGOLS (SURCONSOMMATION / ANALYSE MISSION)
- . PRÉCISION ET ROBUSTESSE FACE AUX DISPERSIONS ET MÉCONNAISSANCES



PILOTAGE

OBJECTIF DU PILOTAGE

- . SUIVRE LES CONSIGNES D'ATTITUDE FOURNIES PAR LE GUIDAGE,
- . ASSURER LA STABILITÉ DU LANCEUR (MODE RIGIDE, MODES SOUPLES, BALLOTTEMENTS DES ERGOLS DANS LES RÉSERVOIRS),
- . LIMITER LES EFFORTS GÉNÉRAUX (PRODUIT PRESSION DYNAMIQUE*INCIDENCE),
- . ASSURER UNE BONNE PRÉCISION DE MISE A POSTE, POUR LES CHARGES UTILES STABILISÉES 3 AXES OU POUR LES CHARGES UTILES LARGUÉES SPINNÉES (PHASES « POST-BOOST »).

ENTRÉES

- . MESURES D'ATTITUDES FOURNIES PAR LA CENTRALE INERTIELLE,
- . MESURES DE VITESSES ANGULAIRES FOURNIES PAR LES GYROMÈTRES (VOL EAP sur A5),
- . MESURES ACCÉLÉROMÉTRIQUES (PHASE ATMOSPHERIQUE SUR ARIANE 1/3 ET SUR ARIANE 6).

COMMANDES

- . ORDRES DE BRAQUAGE DES TUYÈRES, EN PHASE PROPULSÉE,
- . OUVERTURES/FERMETURES DES TUYÈRES DE CONTRÔLE D'ATTITUDE (SCA/SCAR/SCR), EN PHASE BALISTIQUE OU POUR LE ROULIS SUR DES PHASES DE VOL TELLES LE VOL EPC D'ARIANE 5.

CONTRAINTES

- . LIMITES DES ACTIONNEURS (BRAQUAGE MAXIMAL, VITESSE DE BRAQUAGE MAXIMALE, DÉPHASAGE APPORTÉS PAR LES ÉLÉMENTS DE LA CHAÎNE DE PILOTAGE, TEMPS DE MISE EN BUTÉE DES ACTIONNEURS, ...),
- . MINIMISER LA CONSOMMATION HYDRAULIQUE (CAS ARIANE 5),
- . STABILISER LES MODES DE FLEXION ET DE TORSION DU LANCEUR, ET LES BALLOTTEMENTS D'ERGOLS DANS LES RÉSERVOIRS.

CRITÈRES

- . MARGE DE STABILITÉ (CRITÈRES FRÉQUENTIELS),
- . COMPORTEMENT EN SIMULATION NUMÉRIQUE (CRITÈRES TEMPORELS).



CAPTEURS

- CENTRALE INERTIELLE FOURNISSANT :
 - L'ACCÉLÉRATION SPÉCIFIQUE (ACCÉLÉROMÈTRES)
 - L'ATTITUDE (GYROSCOPES, GYROMÈTRES)
 - 2 TYPES DE CENTRALES :
 - CENTRALE A PLATEFORME STABILISÉE
 - CENTRALE « STRAPDOWN »
- GYROMÈTRES FOURNISSANT LA VITESSE ANGULAIRE
- SENSEUR(S) STELLAIRE(S)
- SENSEUR D'HORIZON (TERRESTRE, SOLAIRE)
- GPS ABSOLU OU DIFFÉRENTIEL
- AUTO DIRECTEUR, CAMÉRA,
- TÉLÉGONIOMÈTRE LASER
- RADAR (classique ou SAR)

CAPTEURS DE NAVIGATION & PILOTAGE

LE LANCEUR ARIANE 5 DISPOSE DE :

2 CENTRALES INERTIELLES RLG (Ring Laser Gyros) FOURNISSANT :

DES MESURES D'ACCÉLÉRATION (ACCÉLÉROMÈTRES),
DES MESURES D'ATTITUDE (GRACE A L'INTÉGRATION DES MESURES DES GYROMÈTRES).

2 GYROMÈTRES FOURNISSANT LA VITESSE ANGULAIRE

UTILISÉS UNIQUEMENT POUR LE PILOTAGE 1ER ÉTAGE (EAP)

LE LANCEUR ARIANE 6 DISPOSERA DE :

2 CENTRALES INERTIELLES HRG (Hemispheric Resonators Gyros) FOURNISSANT :

DES MESURES D'ACCÉLÉRATION (ACCÉLÉROMÈTRES),
DES MESURES D'ATTITUDE (GRACE A L'INTÉGRATION DES MESURES DES GYROMÈTRES).

Autres capteurs de Navigation et pilotage possibles :

CENTRALE INERTIELLE A PLATEFORME STABILISÉE (exemple : ARIANE 1 à 4)

CENTRALE INERTIELLE HYBRIDES INS/GPS

MESURE D'ATTITUDE PAR GPS (Expérimental sur avion, application aux lanceurs à l'étude)

MESURE DE PRESSION, VITESSE AIR, INCIDENCE, LIDAR, MAGNETOMETRE, ...

**GYROLASER MONO-AXE 33 CM ET
CENTRALE INERTIELLE ARIANE 5 1^{ÈRE} GÉNÉRATION
(FABRIQUÉS PAR LA SOCIÉTÉ THALES AVIONIQUE)**



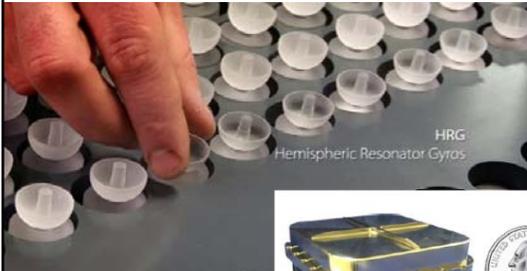
Courtesy THALES



**GYROLASER TRI-AXES PIXYZ 22 ÉQUIPANT LA CENTRALE
INERTIELLE DE NOUVELLE GÉNÉRATION D'ARIANE 5
(FABRIQUÉS PAR LA SOCIÉTÉ THALES AVIONIQUE)**



GYROMÈTRES RÉSONATEURS HÉMISPHÉRIQUES GRH FABRIQUÉS PAR LA SOCIÉTÉ SAFRAN E&D



HRG
Hemispheric Resonator Gyros

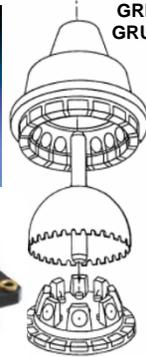


GRH SAFRAN E&D
Courtesy SAFRAN E&D



Courtesy SAFRAN E&D

GRH NORTHROP-GRUMANN LITTON



Couvercle support des électrodes d'excitation
Cloche résonante
Support des électrodes de détection

LA NOUVELLE CENTRALE INERTIELLE ARIANE 6 SPACENAUTE® DE SAFRAN E&D EST ÉQUIPÉE DE TROIS GRH ET DE TROIS ACCELEROMETRES A600



Courtesy SAFRAN E&D



HRG
Hemispheric Resonator Gyros

Courtesy SAFRAN E&D

31

arianeGROUP
Université Paris Saclay Space Obs Généralités sur le GNC Juin 2019

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.

ACTIONNEURS POUR LE PILOTAGE

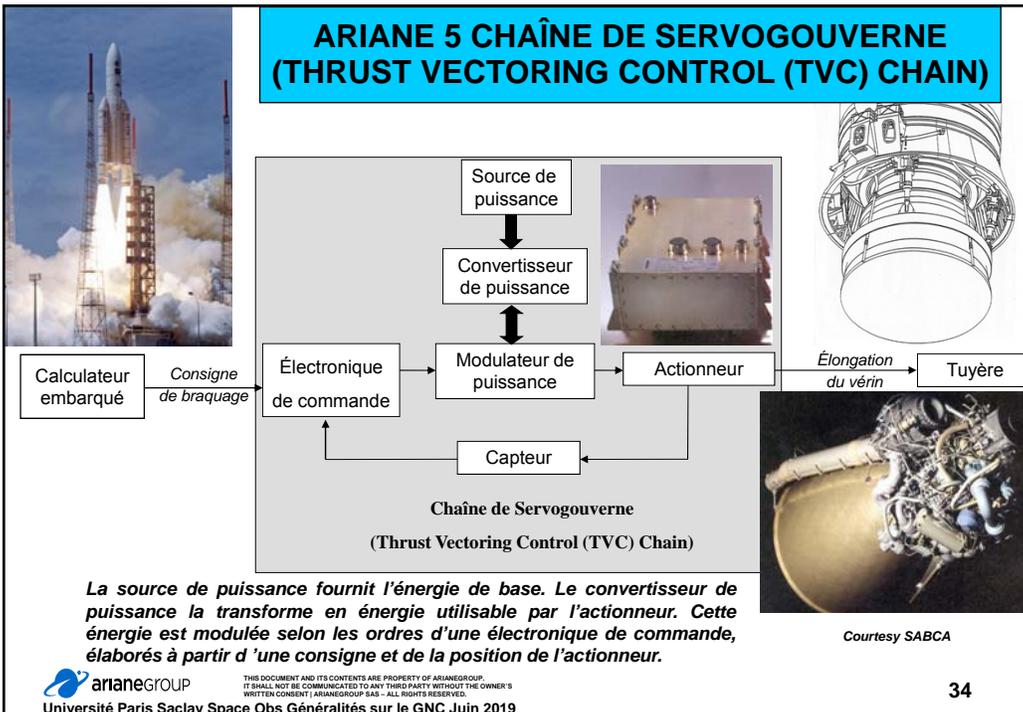
- ➔ **ORIENTATION DE LA POUSSÉE PAR DES SERVO-VÉRINS HYDRAULIQUES OU ÉLECTRIQUES, ACTIONNANT LES TUYÈRES, EN PHASE PROPULSÉE :**
 - . MOTEUR SUSPENDU PAR CARDAN (PROPULSION LIQUIDE)
 - . TUYÈRE A JOINT FLEXIBLE (PROPULSION SOLIDE)
 - . SUR ARIANE 5 : COMMANDE PAR DES VÉRINS HYDRAULIQUES
 - . SUR ARIANE 6 : COMMANDE PAR DES VÉRINS ÉLECTROMÉCANIQUE (EMA), OU HYDRAULIQUES (ESR ET ULPM : EMA, LLPM : HYDRAULIQUE)
 - . AUTRES SOLUTIONS : VÉRIN ÉLECTRO-HYDROSTATIQUE (EHA).
- ➔ **COMMANDES D'OUVERTURE DES TUYÈRES DE CONTRÔLE D'ATTITUDE EN PHASE BALISTIQUE OU ORBITALE (« ACS ») :**
 - . GAZ FROID (ex : ARIANE 4 et ARIANE 5 ÉVOLUTION A5ECA)
 - . HYDRAZINE (MONERGOL SUR LIT CATALYTIQUE ex : ARIANE 5 GÉNÉRIQUE A5/S & A5E/S)
 - . BILQUIDE (ex : ATV)
- ➔ **ORIENTATION DE GOUVERNES AÉRODYNAMIQUES EN PHASE RENTRÉE**
 - . GOUVERNES AÉRODYNAMIQUES ORIENTABLES
 - . COMMANDÉES PAR ACTIONNEURS HYDRAULIQUES OU ÉLECTRIQUES (type Vérin Électromécanique EMA, ou Vérin Électro-Hydrostatique EHA)

PRINCIPES GÉNÉRAUX DES SERVOGOUVERNES (SVG) POUR TUYÈRE (OU MOTEUR) MOBILE

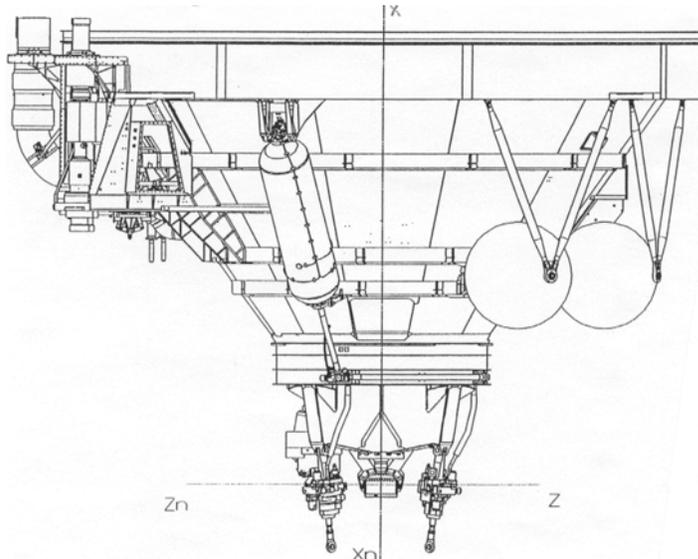
Pour orienter la force propulsive :

- la Servogouverne (SVG) oriente la tuyère dans l'espace en fonction des ordres de braquage reçus,
- la SVG comprend 2 actionneurs situés dans deux plans orthogonaux (confondus parfois avec les plans de tangage et de lacet, ou bien situés à 45°),
- chaque actionneur est positionné entre un point ' fixe ' de la structure (' A ' point d'ancrage) et un point mobile (' T ' point de timonerie sur la tuyère ou sur le moteur),
- en faisant varier son élongation, chaque actionneur entraîne en rotation la tuyère dans son plan d'activation.

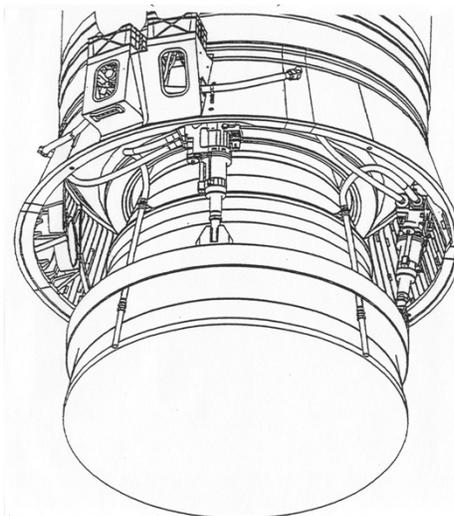
ARIANE 5 CHAÎNE DE SERVOGOUVERNE (THRUST VECTORING CONTROL (TVC) CHAIN)



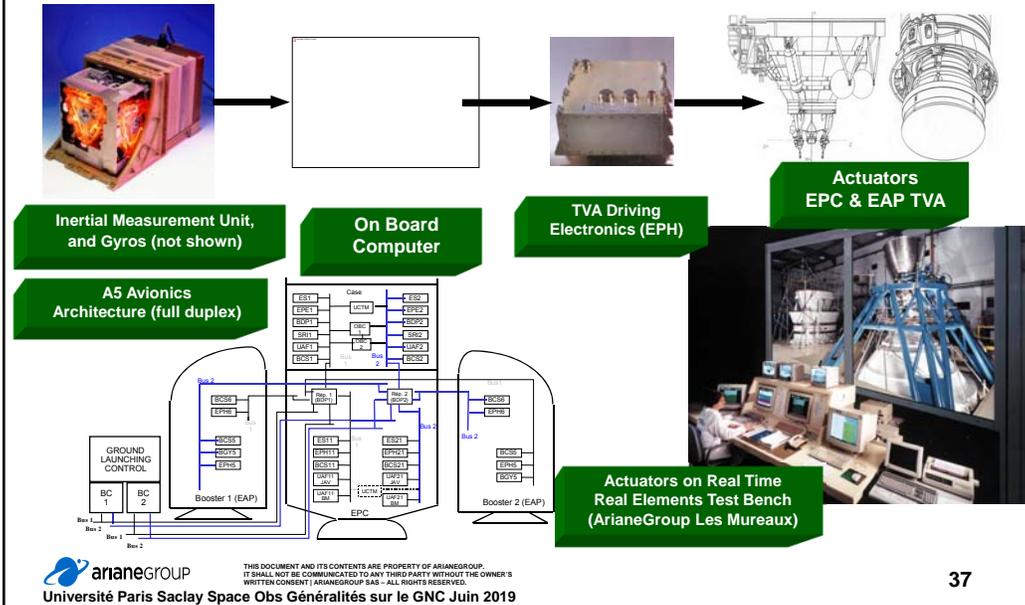
VUE GÉNÉRALE DU GROUPE D'ACTIVATION MOTEUR GAM ARIANE 5



VUE GÉNÉRALE DU GROUPE D'ACTIVATION TUYÈRE GAT ARIANE 5



Ariane 5 Environnement du GNC Avionique Lanceur : Actuateurs, Capteurs, et Calculateur.



Nos métiers du GNC

- ➔ ANALYSE DE MISSION,
- ➔ CONTRIBUTION A L'INGÉNIERIE DES SYSTÈMES ET AU DESIGN LANCEUR,
- ➔ CONCEPTION DES CHÂÎNES FONCTIONNELLES DE GNC ET CONTRIBUTION A LA CONCEPTION DE L'AVIONIQUE LANCEUR,
- ➔ CONCEPTION DES ALGORITHMES DE GNC (MÉTHODES D'AUTOMATIQUE, D'OPTIMISATION, DE FILTRAGE ET D'ESTIMATION, DE TRAITEMENT DU SIGNAL, D'ANALYSE NUMÉRIQUE, ...),
- ➔ CONCEPTION DES ALGORITHMES SÉQUENTIELS,
- ➔ MODÉLISATION DE LA PHYSIQUE DU VOL, CONCEPTION DE SIMULATEURS, SIMULATIONS NUMÉRIQUES,
- ➔ MÉCANIQUE DES PHASES TRANSITOIRES (DÉCOLLAGE, SÉPARATIONS D'ÉTAGES, LARGAGE COIFFE, INJECTION DES CHARGES UTILES, ...)
- ➔ CONCEPTION DES LOGICIELS EMBARQUÉS ET INFORMATIQUE TEMPS RÉEL
- ➔ CONCEPTION ET UTILISATION DE SIMULATEURS TEMPS RÉEL

Merci pour votre attention !

QUESTIONS ?



#spaceenablers

