

- **Situation des développements Ariane à l'ESA**
- **Les défis de l'électronique embarquée dans un lanceur**

22 Mars 2013

Alain . Conde . Reis @ esa . int

# Decisions au Conseil ESA de niveau ministériel de 2012



Ariane Programme

Le **Programme de Développement Ariane** a été voté à la ministérielle en 2012, comprenant trois volets et équipes:

- a. *A5ME* Spécifique, concernant le Système de Lancement Ariane 5 ME
- b. *A6* Spécifique, concernant le Système de Lancement Ariane 6
- c. *Common Upper Stage*, concernant l'étage et moteur Vinci, avec un objectif de le rendre au maximum commun entre A5ME et A6

En ce qui concerne Ariane 5 ME, la déclaration prévoit un vol en 2017, avec un développement divisé en deux phases:

- a. Phase C jusqu'à la revue critique du design du Système de Lancement (bord+sol) "LSCDR" en 2015
- b. Phase D (à voter en 2014) visant la qualification et l'introduction en vol

# Objectifs de l'évolution Ariane 5 ME, repris de la déclaration



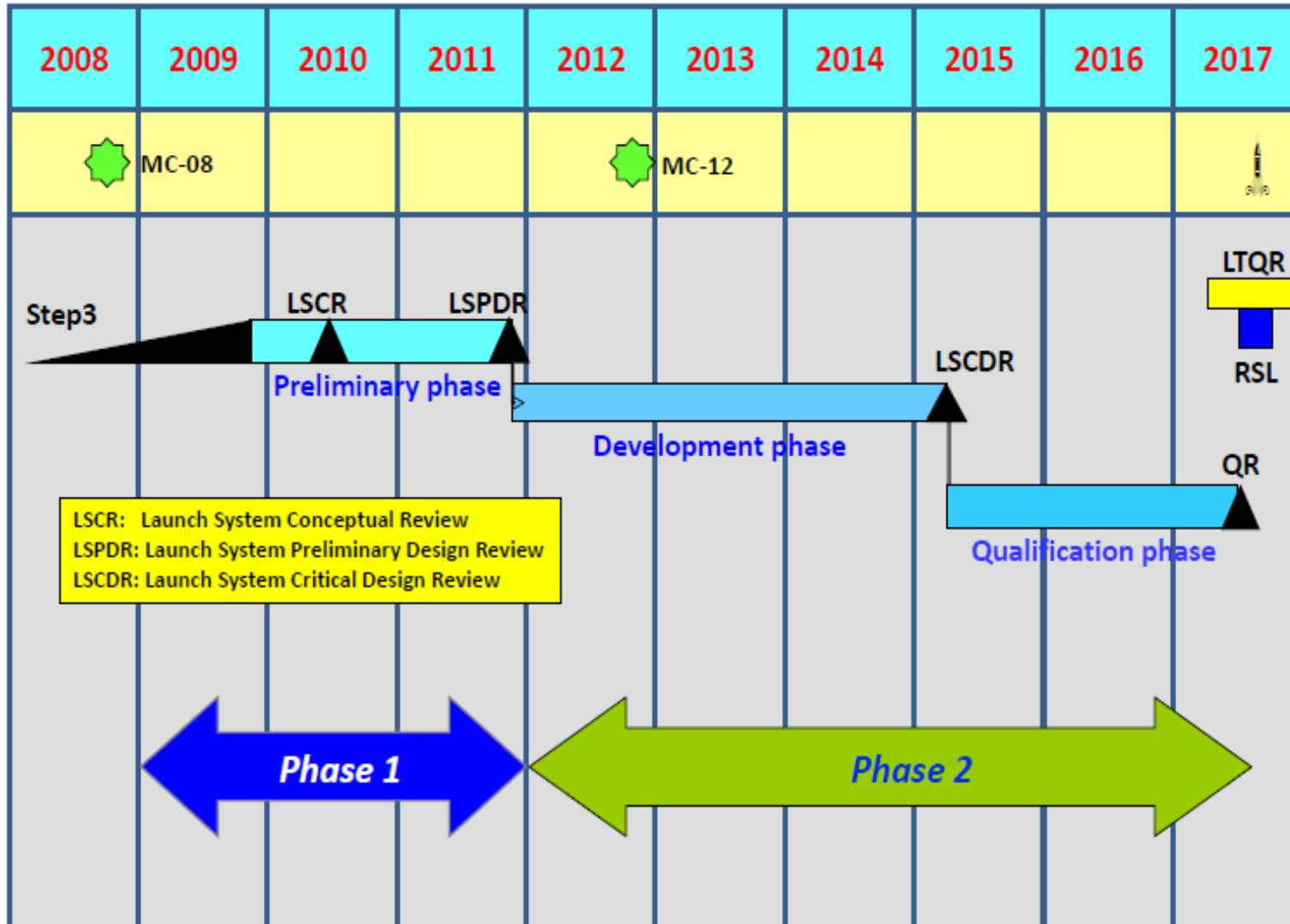
Ariane Programme

1. The top-level objectives for Ariane 5 ME stated in the declaration are to:
  - a. Decrease the level of public funding in Ariane 5 exploitation
  - b. Better respond to future needs and keep competitiveness on the commercial market by easing dual launch capability
  - c. Contribute to the space environmental protection through controlled re-entry of the upper stage
  
2. The activities for Phase C of the development include:
  - a. Launcher system engineering (including flight software activities) up to and including Launch System Critical Design Review in 2015
  - b. Continuation of activities on sub-systems and equipment, to secure the maiden flight schedule
  - c. Prepare the introduction into exploitation and the transition phase from the first ME operational launch to the discontinuation of the ECA configuration

# Today, the nominal development plan leads to a first flight in 2017



Ariane Programme



# Les défis de l'électronique embarquée dans un lanceur

22 Mars 2013

# Le contexte d'un lanceur, et la redondance de l'avionique



Ariane Programme

Un lanceur se caractérise par:

- Un besoin de fiabilité important, avec
  - Une mission brève, de l'ordre de l'heure
  - Un environnement sévère (vibrations, chocs, thermique...)
- Une fabrication en (petite) série, sur des longues durées (>15 ans)

La redondance du système électrique et logiciel (SEL) d'Ariane 5 a fait l'objet de nombreuses discussions au cours desquelles les approches théoriques ont été confrontées au pragmatisme... Cette décision est importante car l'impact du choix de la redondance est contraignant dans le développement.

Extrait note de 1985: « *les discussions sur le thème de la redondance prennent souvent une tournure passionnelle et polémique* »

# Le contexte d'un lanceur, et la redondance de l'avionique



Ariane Programme

Numériquement, l'objectif recherché est une défiabilité de l'ordre de  $10^{-2}$  pour le lanceur, et un ordre de grandeur en dessous à  $10^{-3}$  pour le SEL (calculs de genre MIL-HDBK-217...)

Cet objectif seul ne justifie pas la redondance. Si on ajoute le coût de développement et puis de la production récurrente, on est tenté de supprimer la redondance.

Dans le débat, on trouve deux approches:

- Le scepticisme à l'égard des chiffres et calculs, et des prédictions, en mettant en avant les incertitudes et facteurs mal maîtrisés, et les retours d'expériences sur les anomalies en production
- La rigueur de l'analyse quantitative, avec modèles et essais validant les calculs, et tendant à prouver que les objectifs de fiabilité sont atteignables sans redondance

# Le choix de la redondance sur Ariane 5



Ariane Programme

Initialement, l'industrie n'était pas en faveur de la redondance, et de son surcoût.

Ce n'est donc pas la fiabilité globale qui a imposé la redondance, mais une imposition au niveau de l'Agence (CNES), pour couvrir par exemple:

- la tolérance aux défauts de fabrication (alertes composants, dérive production, soudures, collages...)
- la limite de couverture des contrôles avant lancement, et la la possibilité d'erreur non détectée (pollution...)
- Les fin de vie / obsolescence, introduisant régulièrement des nouveaux composants et technologies avec risques de « jeunesse »
- Les fautes de conception résiduelles qui n'apparaissent que plus tard
- Les facteurs d'amplification retenus pour l'environnement non représentatifs de la situation locale
- Le risque de dérive sur la qualité et pérennité des moyens de production et des contrôles, et des opérateurs
- Les réductions de coût périodiques qui impactent la production...



On a dépassé 50 vols d'Ariane 5 sans anomalie majeure, à raison d'environ 6 vols par an. Cela a-t-il justifié à postériori le choix de la redondance?

**OUI!**

- Trois vols auraient été perdus (bug logiciel suite à un événement singulier particule / SEU, une panne non expliquée)...
- Plusieurs faits techniques et anomalies en production, et en campagne, peu « visibles » pour le client (i.e. pas de surcoût pour risque)
- Plusieurs retards évités, suite à alertes de composants « tolérées » car n'impactant qu'une voie (i.e. pas de surcoût en jours de campagne...)
- Introduction de nouveaux équipements (suite à obsolescence), en « **mixité** »

# La mixité en production: une utilisation de la redondance



Ariane Programme

L'architecture électrique du lanceur Ariane 5 présente la facilité intellectuelle, en cas de doute plus ou moins générique sur un équipement, de proposer une «mixité» en installant, pour une chaîne redondée, des équipements d'origine différente.

Au fil des incidents de production, cette approche a priori «de bon sens» induit progressivement l'idée que le plus sûr en vol est de monter des équipements les plus différents possibles éliminant, de ce fait, tout risque de mode commun pour les anomalies (composants de lots différents, numéros de série espacés...)

Le traitement des obsolescences des équipements (malheureusement régulières car liées aux évolutions continues de l'électronique) et l'introduction des nouveaux équipements en production, entretient cette idée, partant du principe que, pour une première utilisation, il serait plus fiable de monter un équipement de l'ancienne génération couplé avec un nouveau. C'est ce qu'on fait sur Ariane 5.

# Quel retour d'expérience



Ariane Programme

La généralisation du principe de mixité et le sentiment de confiance qu'il donne peut se révéler dangereux si on oublie ou sous-estime les conséquences dites Système et plus encore le fait que jamais le SEL Ariane 5 n'a été conçu avec une "*diversité des matériels*", comme cela est, par exemple, le cas dans l'aéronautique...

Néanmoins le retour d'expérience de l'introduction en 2011/12 de nouveaux équipements (suite à obsolescence), en « mixité » s'est révélé bénéfique:

- Pas d'impact pour le client satellite, car risque accepté
- L'introduction de nouveaux équipements est faite au fil de l'eau et ne nécessite pas d'y consacrer un vol spécifique (ou d'acheter un lanceur)
- Pas de stock perdu: nouveaux équipements introduits exactement quand le stock est fini

# Conclusion: la redondance, pourquoi?



Ariane Programme

La redondance s'est finalement révélée gagnante pour l'exploitation d'Ariane 5 **vis-à-vis des contraintes propres à la production/exploitation des 6 lanceurs par an sur une longue durée.**

Les problématiques considérées en premier lieu dans le développement (calcul de fiabilité par taux de panne, études RAMS...) n'ont pas été prédominantes in fine sur le terrain, avec aucune panne de composant avérée durant un vol

Un lanceur se caractérise par:

- Un besoin de fiabilité important, avec
  - Une mission brève, de l'ordre de l'heure
  - Un environnement sévère (vibrations, chocs, thermique...)
- Une fabrication en (petite) série, sur des longues durées (>15 ans) **avec ses risques de dérives des fabrications/contrôles/opérateurs, poussés par les obsolescences et la pression coût...**



**Ariane Programme**

**Merci!**