

Systemes temps réels, véhicules spatiaux

Conférence technologique de François Dubuc de EADS Astrium.

1 Introduction

ASTRIUM de EADS (avionique et spatial). Grand programme très long :

- Ariane
- Missile balistique SM : M-R1
- Colombus de la station international

Les seuls projets qui vont avoir une durée de vie de plus de 40 ans. L'ingénieur : Ariane : Amélioration du lanceur pour faire face à la constructeur : logiciels de vol, systèmes électriques ... Chef de projet.

1.1 contexte

Après la 2nd guerre mondiale, après la défaite des allemands, recuperation des technologies et des scientifiques. Accès à l'espace dans le domaine militaire. Leadership français pour les lanceurs. Puis prise de conscience dans le domaine civile : Astérix, 1er satellite. Les plus grosses fusées ont mis du temps à arriver : Décomposition en étage, hors cela cause des problèmes globaux (dû à la structure). Apparition de "l'architecte" qui a une vue d'ensemble. Le dvlp d'ariane 5 : 6 Milliards d'euros (bien plus pour le rafale (<3 fois plus)). Importance du GPS. Apport de Prestige et de Compétences. Vision politique du spatial (plus limité en Europe qu'aux USA). ESA = Agence spatiale européenne. L'espace dépend directement des états. Rentable ? Les lanceurs ne sont pas rentables, correspond aux stratégies : - Sattelites de com => dépense pour avoir le satellite - Armée, recherche, meteo, service public. La concurrence est rude : Russie, USA, Chine. De nombreux concurrents peu chers. (concurrence 2 fois moins cher et rentable (autofinancement) (entreprise USA, paypal)). Lancement d'ariane : 200-300 Millions d'euros. Client de l'entreprise : Arianespace, ESA, Direction des armements (missiles). Sous-traitement : equiments électroniques (salle blanche) **1.2 Le "lanceur"**

2 Réacteurs annexes : 2min pour la poussée initiale (2-3g) 1 réacteur principale après le décollage (après le largage) (1.5g). Protection des sattelites et on ejecte tout ce qu'on peut pour diminuer le poids. 10T de cargaison. A5ECA : charge varié haute altitude. (50m, 700T (5m de diam)). A5ES : charge lourde basse altitude A5M2 : polyvalent Tous les ans les sattelites augmentent de 250kg par ans (loi de moore) (6 tonnes maintenant). Les clients demandent que le lanceur accompagne jusqu'au bout le satellite : rallumage des moteurs 4 fois. Developpement des lanceurs à long terme (prévisions sur 40 ans) ESA :

Astrium (sol, construction) => RUANG, SNECMA(moteur primaire), EUROPROPULSION (moteurs secondaires) CNES (control en vol et lancement) Dvlp de ariane : 7ans pour 8 Md 100 à 100M Les restes des fusées vont soit dans la mer (atlantique et indien) soit dans une orbite cimetière. Les débris ne sont que peu gênant pour les satellites et lancement. Le lanceur est un réservoir de liquide et des boosters avec de la poudre(brule de façon constante) : forme en étoile pour diminuer la quantité de poudre qui brule en même temps avec le temps. Le contrôle se fait par verrins hydraulique ou des explosifs au niveau des séparations des étages de façon très précise (10 ms de tolérance) (tps réel) pour éviter un mauvais comportement. Pendant le lancement, il y a de nombreux facteurs à prendre en compte : boucle fermée en temps réel (asservissement grâce à de nombreux capteurs). Le fuselage se tord par le vent, le liquide balotte, les moteurs bougent. 70L/s pour les pompes d'alimentation du moteur primaire : pas constant à cause des vibrations, raisonnement de vibration du liquide ayant la même que les tuyaux (POGO). Le calculateur : naviguer(connaitre sa position ..) , guider(trajectoire, cible ..), piloter(gestion des tuyères). Les communications avec la fusée sont très limitées (quasi nul sauf auto-destruction). Environnement :Problème de radiations (processeurs non miniaturisé). Thermique : pas d'air. EM : émission du satellite ou du centre. les essais sont peu nombreux tps de dvlp et durable budgets limités marchés guidés par les clients

Les composants ne sont pas très miniaturisés mais très robustes : technologie dépassée.

ROAS : pas de plomb dans les composants. Mais l'étain pur sur du cuivre fabrique un alliage provoquant une pression sur l'étain provoquant des fils d'étains (1cm max) qui peuvent mettre en contact des broches : soit ça devient un fusible, soit c'est un arc électrique qui peut provoquer des dommages sur la fusée.

1.3 Notion de système

2 Cycle de dvlp syst tps réel

Cycle en V vérifié par des simulations virtuelles et des physiques mais au sol en stimulant des entrées pour faire croire à la chaîne fonctionnelle qu'elle est en vol. Test grandeurs natures dans des pseudo fusées pour vérifier qu'il n'y a pas de risques pour la fusée.

Le logiciel est la variable d'ajustement du matériel en rajoutant des lignes de codes pour corriger les problèmes du système.

2.1 Concurrent engineering / Qualification du système

Il y a des liens croisés entre les métiers nécessitant des multiples boucles d'études pour converger vers le concept optimal : il y a des thèmes, radiation, thermique, ..., que chaque équipe doit connaître et gérer le problème/critère/secteurs de la fusée.

2.2 Architecture HW

Architecture duplex : tout en doublon pour éviter la panne et extinction d'éléments si absurde. Le calculateur décide du fonctionnement (ou pas) d'un élément et contrôle de gestion des pannes (auto-détection de 90% des pannes du calculateur : dans le cas d'une panne, passe la main au second et s'éteint).

Code correcteur : 10 sur 5. Les deux calculateurs fonctionnent tout le temps sauf en cas de plantage (une comparaison des états se fait si il y a 3 calculateurs, lors du transport humain, il y en a 4 pour survivre à 2 pannes critiques).

Attention : plus il est complexe, moins il est fiable.

Nombreux tests : couverture du max du code et toutes les combinaisons du code.

Protection du code (div by 0) mais les tests avant les zones à risques ont des limites (else et puissance de calcul). Mode survie. Double développement (airbus).

Redondance et vote.

Stabilité numérique :

Au niveau du hardware : Attention : Entre deux processeurs différents, il peut comporter des différences dans les calculs ($+/-10^{-15}$) : *l'asservissement va provoquer un "tenn*

exponentiel : aubout de 60s, on se trouve avec une trajectoire très différente de celle voulue. Divergen

Au niveau du software : Impossible à faire au niveau économique et si une erreur même minime apparaît, c'est un énorme plantage.

2.3 Cycle logiciel

2.4 Gestion projet / CMMI / gestion de conf

CMMI :

Resumé : dire précisément où on en est (utilisation de chiffres, de stat), estimation et calibrage pour le futur.

standard :

niv 1 : héroïque : certaines personnes à elles seules tiennent le projet.

3 Exemple : ATV

1er contrat : 300M => 1Md (+4ans) 6 calculateurs, de nombreux périphériques (camera, GPS, télégonomètre, imagerie, laser ...). Mode de survie ATV : extinction du calculateur puis rallumage en mode minimal (tous les périphériques sont éteints), face au soleil et écoute et exécute les commandes venant du sol (identification et correction des erreurs).

Cycle en V mais de façon incrémentale (forme de W). Baseline (censé faire) et version (fait). plusieurs versions avec des exigences mises de côté précédentes. Dvlp parallèle de la V1 et V2 (les équipes de codage travaillent tout le temps. Les versions se suivent en cascade et les équipes sont optimisées. Les versions intermédiaires : quelques modifications en plus d'après la baseline (R2.1 => V2.2). 2500 pages de baseline, 500000 lignes de codes par logiciel.