

La mission MAX, ou *La bonne* opportunité pour associer Science et Dol en Formation dans un programme national

Mars 2004 – A. Salvatori, C. Koeck

LA BONNE OPPORTUNITÉ: POURQUOI ?



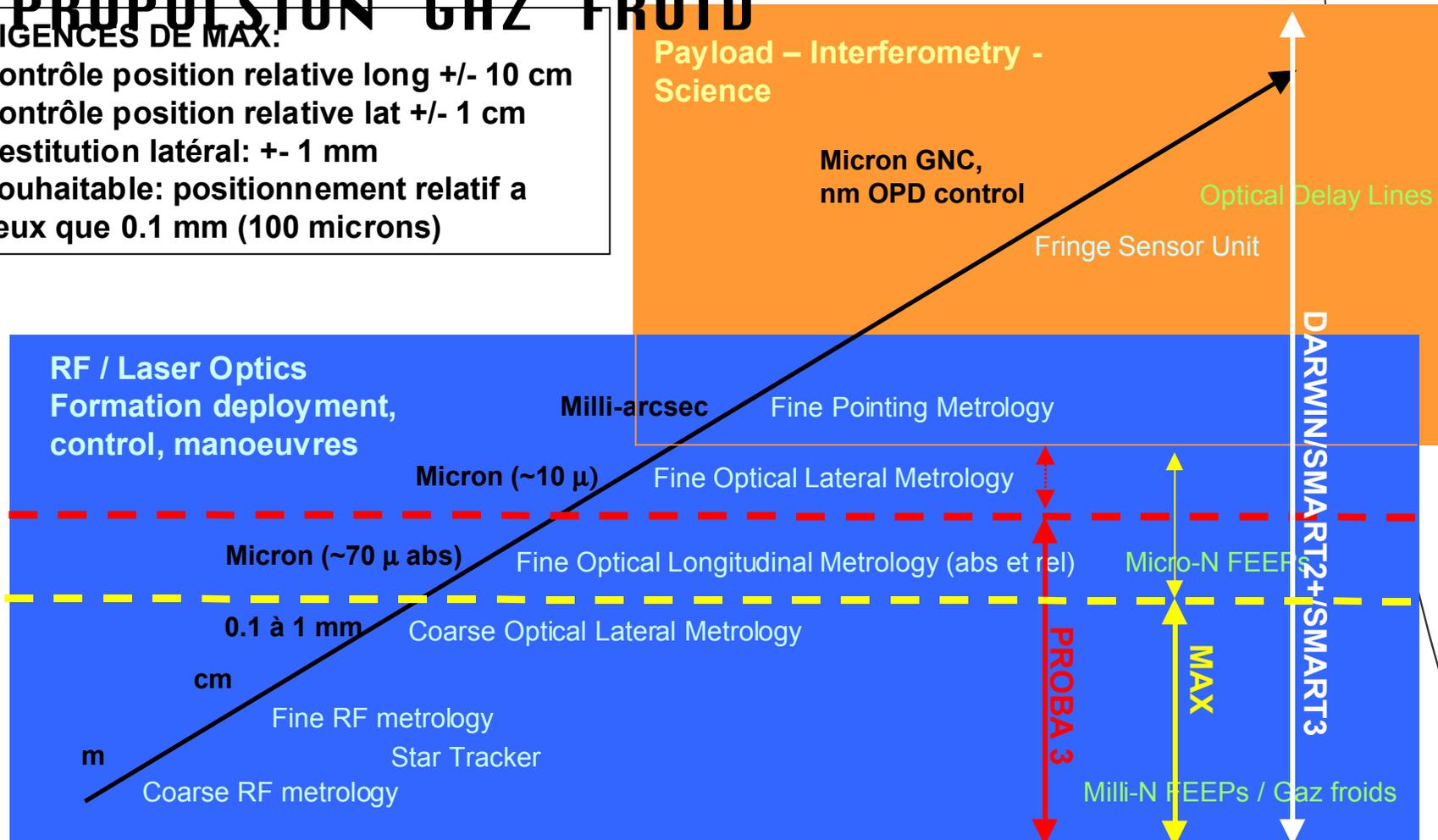
- **Un saut significatif dans les performances de l'observation gamma, s'appuyant sur une technologie lentille gamma validée sous ballon**
- **Des spécifications système ambitieuses mais tout a fait atteignables à l'horizon 2010/12:**
 - Les briques de base technologiques et système du vol en formation sont validées ou très avancées;
 - Plusieurs plate-formes sont disponibles en France ou en Europe.
- **Une convergence de technologies et de produits français:**
 - Lentille gamma, métrologies & algorithmes pour vol en formation, plate-formes
- **Un coût global raisonnable, moyennant l'optimisation du scénario de lancement, de l'orbite et des plate-formes (récurrence maximum)**

LES BESOINS MINIMUM DE MAX NECESSITENT DE LA METROLOGIE OPTIQUE GROSSIERE ET UNE

PROULSION GAZ FROID

EXIGENCES DE MAX:

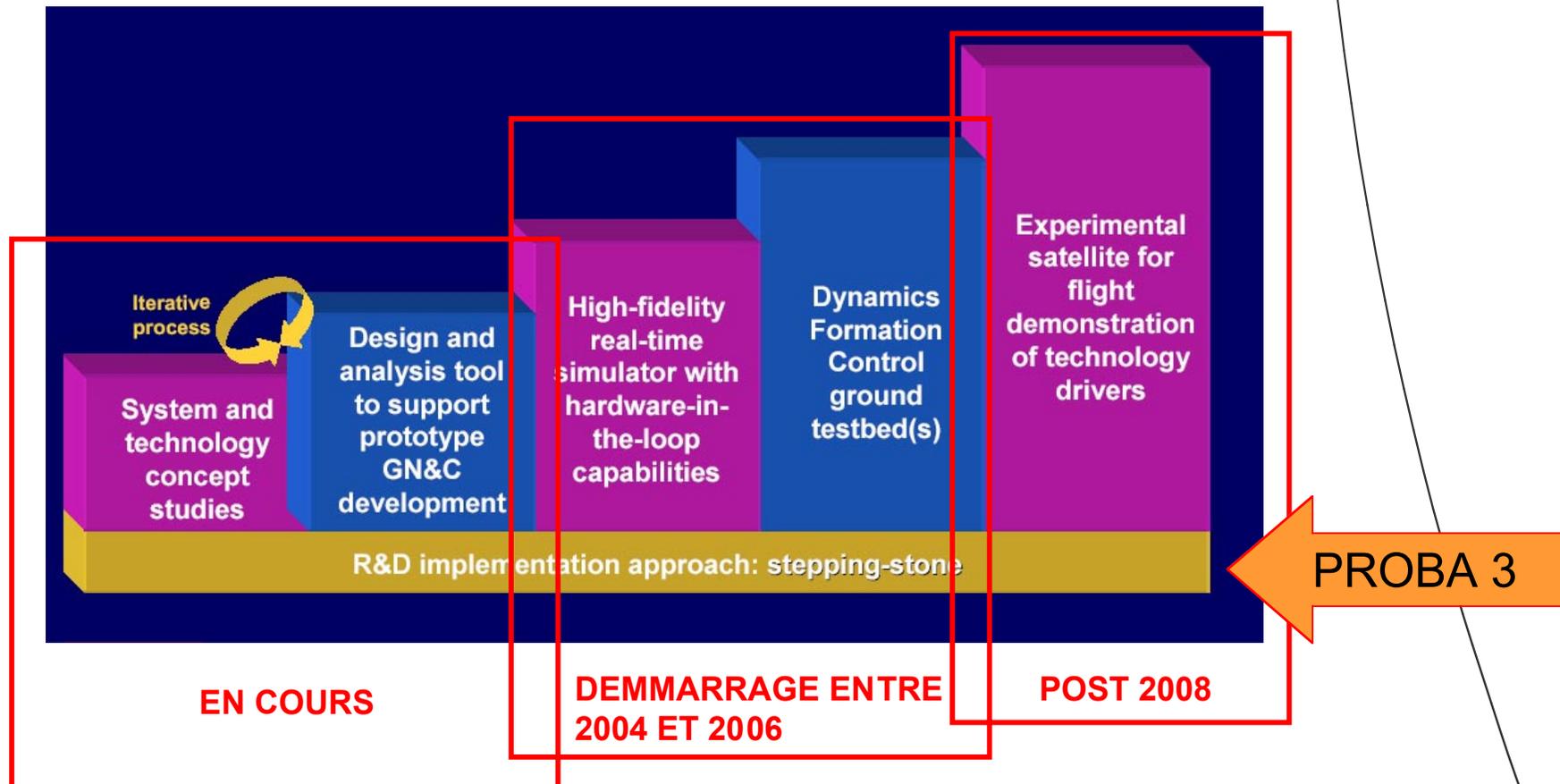
- Contrôle position relative long +/- 10 cm
- Contrôle position relative lat +/- 1 cm
- Restitution latéral: +/- 1 mm
- Souhaitable: positionnement relatif a mieux que 0.1 mm (100 microns)



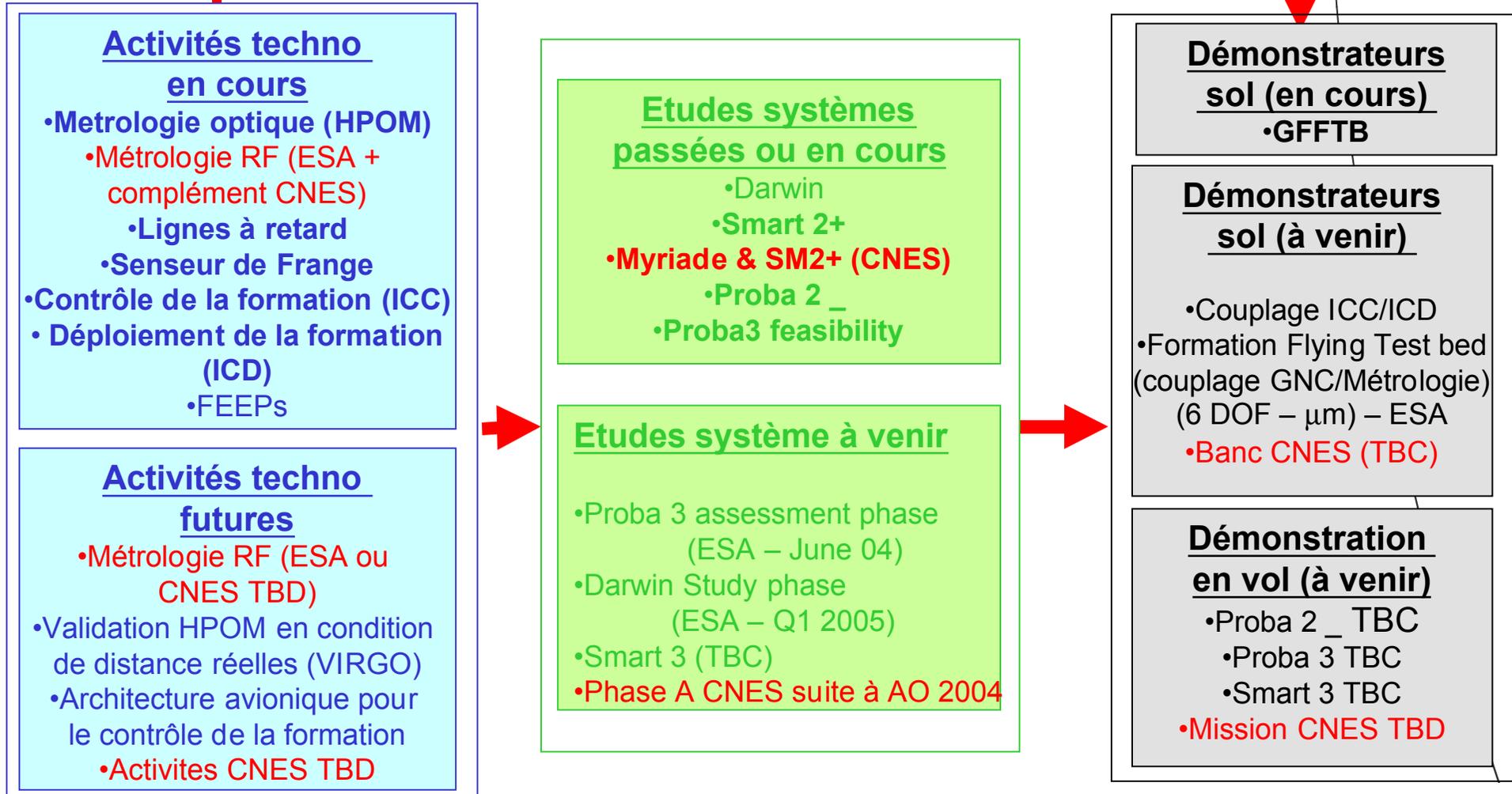
LES BRIQUES DE BASES TECHNOLOGIQUES DU VOL EN FORMATION SERONT DISPONIBLES



- Le plan technologique de l'ESA vise à préparer les missions scientifiques, en particulier Darwin (approche incrémentale)
- Il devrait être complété dès 2004 par des activités CNES

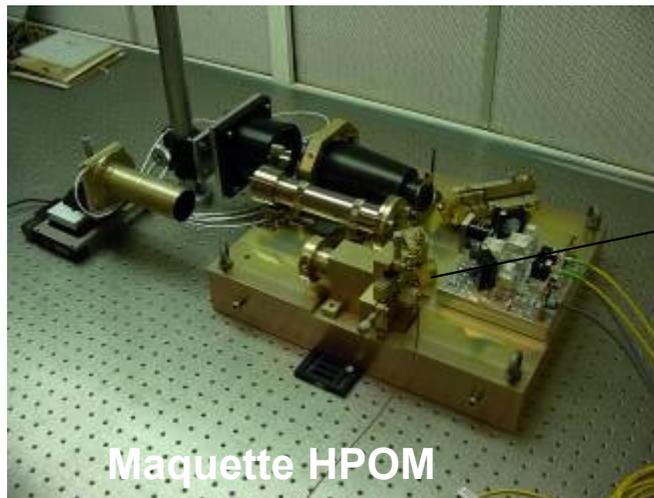


ACTIVITES EN COURS ET PREVUES (Plan technologique CNES non disponible aujourd'hui)

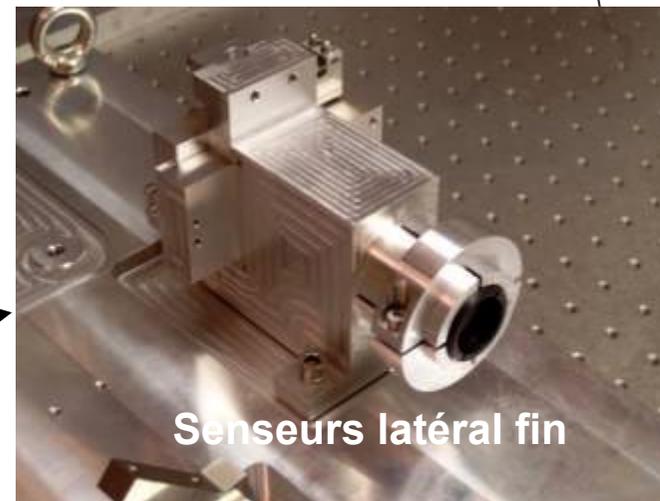


LA BRIQUE METROLOGIE OPTIQUE EST MAQUETTEE ET VALIDEE AU SOL (contrat HPOM visant

- **Darwin/SM3/SM2+)** Combinaison des senseurs longitudinaux fins absolu (70 microns) et relatif (5 nm)
 - Senseur absolu nécessaire seulement si étoile observée de faible flux
 - Dual Wave length Interferometer développé sur la base de la technologie LISA
- Système validant la faisabilité mais non optimisé pour une mission de type MAX car visant à valider Darwin mais aussi les performances des FEEPS et des lignes à retard



Maquette HPOM



Senseurs latéral fin

LES DEVELOPPEMENTS ALGORITHMIQUES POUR LE CONTRÔLE SONT DEJA EN COURS DE VALIDATION

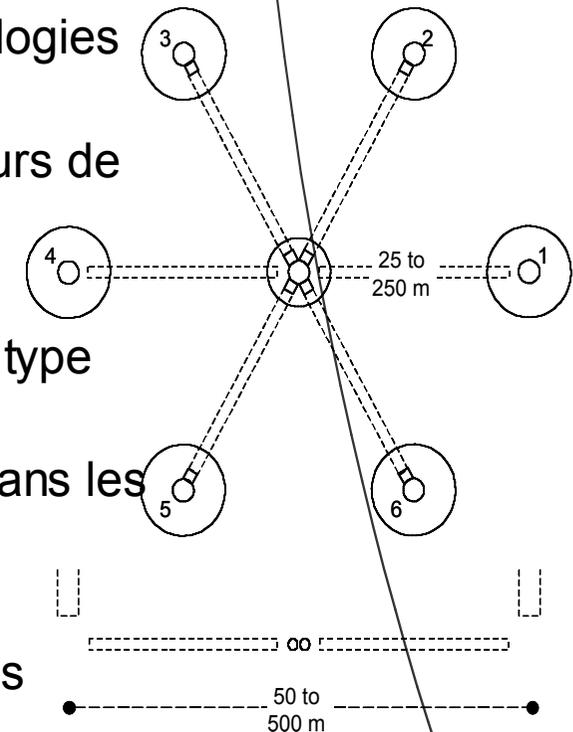


- **Déploiement de la formation et anti-collision**

- Spécification des senseurs et actionneurs pour une GNC de type Darwin, depuis la séparation jusqu'à l'entrée du contrôle fin (~cm)
- Performances en cours de vérification sur la base des métrologies définie dans les autres contrats techno
- Architecture décentralisée et partiellement centralisée en cours de définition

- **Contrôle fin et re-positionnement de la formation**

- Spécification des senseurs et actionneurs pour une GNC de type Darwin (OPD < 5 nm – pointage < 8 mas)
- Performances atteintes avec FEEPs et métrologies définie dans les autres contrats techno
- Architecture centralisée et avionique définies
- Banc de test générique en cours de réalisation (validation des performances temps réel – calculateur LEON)



DES ETUDES SYSTEME ONT DEJA DEMONTRE LA FAISABILITE DE TELLES MISSIONS



Astrium a participé ou conduit les études suivantes:

- SMART2 + : phase de définition pour l'ESA -
Démonstrateur de DARWIN et LISA
- SMART2 + : étude de la compatibilité avec la plate-forme
Myriade pour le CNES – Emport de la métrologie fine
- PROBA 2 _ : étude de faisabilité pour l'ESA d'un nanosat
volant en formation avec un microsat (Astrium UK)
- PROBA3 : étude de faisabilité pour l'ESA d'un
démonstrateur de vol en formation générique et peu cher

Ces systèmes dépassent largement les besoins de MAX mais démontrent la faisabilité

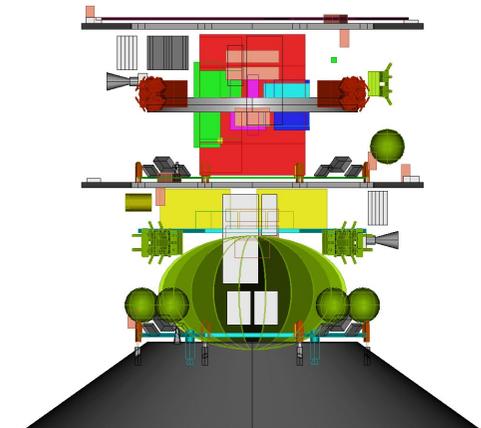
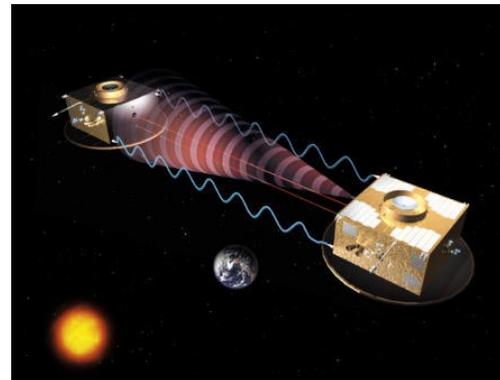
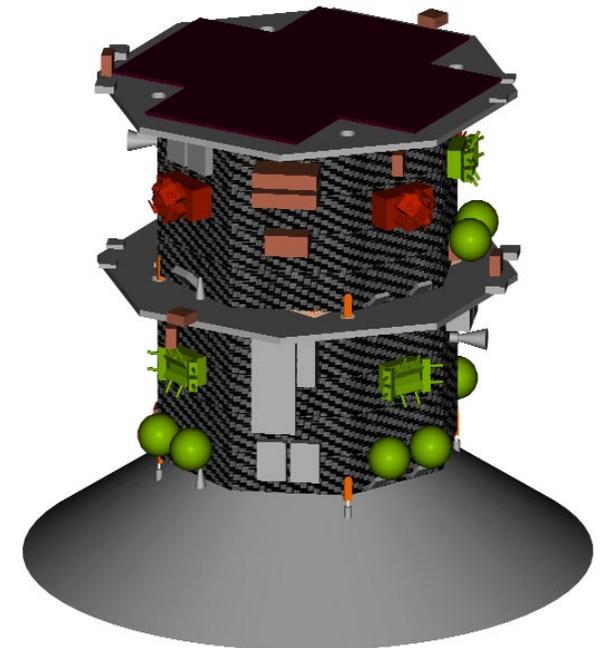
Pas de relation avec le besoin MAX

Très proche des besoins MAX

ETUDE SMART2+ POUR L'ESA: la première étude approfondie démontrant la faisabilité du voile formation de haute précision



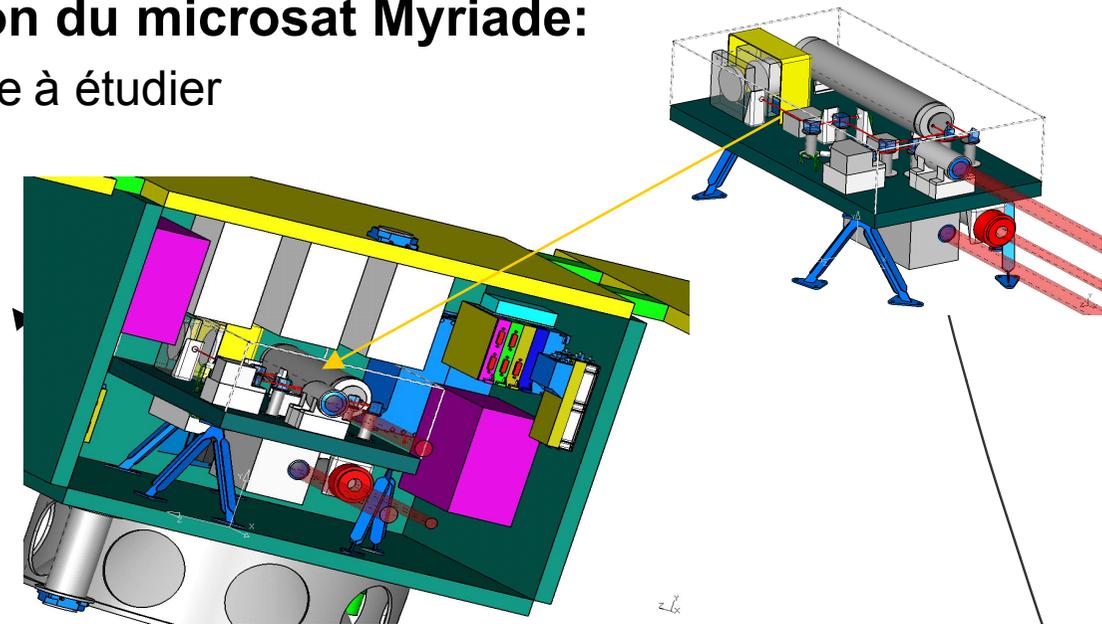
- Contrôle relatif et connaissance de la position à mieux que 0.1 mm (typiquement ~25 microns)
 - Contrôle du chemin optique (ligne à retard) ~nm.
 - Capable de maintenir la performance avec une distance inter-satellite variant de 25 à 250 m
 - Capable de repointer l'axe de visée
 - Système de métrologie optique contraint par la réutilisation de laser LISA: peut être optimisé.
-
- Ensemble autour de 1 tonne
 - Métrologie RF: ~17 kg
 - Métrologie optique: ~30 kg dont la moitié pour le contrôle de l'OPD



LA COMPATIBILITE DU MICROSAT MYRIADE AVEC LA MISSION SMART2+ A ETE DEMONTREE



- **Objectifs majeurs de l'étude pour le CNES:**
 - Faisabilité de l'accomodation des sous-systèmes métrologie
 - Compatibilité des sous-systèmes SCAO et propulsion avec les besoins de contrôle
 - Définition du schéma programmatique (coût et planning)
- **L'étude a démontré l'adéquation du microsat Myriade:**
 - Phase de transfert en L1 reste à étudier



PROBA3: une démonstration du vol en formation



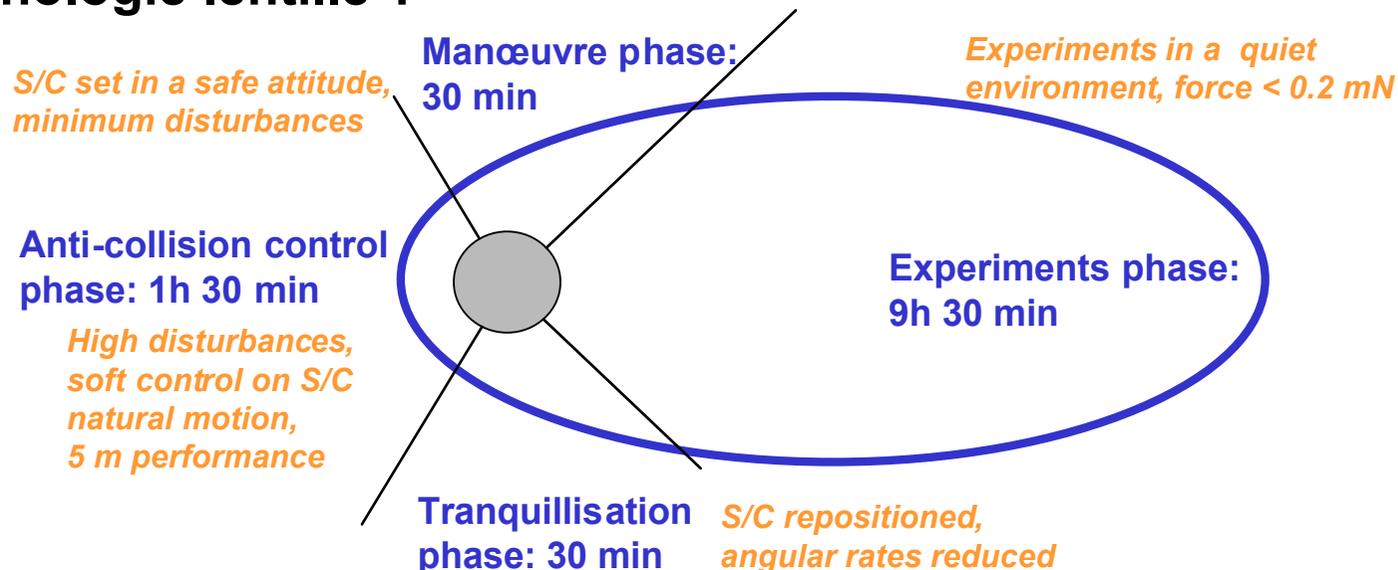
- **Objectifs principaux de l'étude terminée en mars 2004:**

- Définir une mission de démonstration à base de microsats pour tester et valider des architectures et techniques de Vol en Formation (tir en 2008)
 - Objectif initial de 1 cm / 0.1 deg a été atteint et capacité de la porter à 0.1mm voire au micron démontrée
- Identifier le meilleur compromis entre les technologies existantes, le coût et l'intérêt pour les missions futures.
 - Résultats crédibilisés par forte implication d'Astrium sur études et développements technos
 - Pas de FEEPs – Gaz froid et hydrazine
 - Optimisation de la métrologie optique: Latéral grossier et longitudinal absolu
- Valider le comportement global du système: boucle fermée, transition entre métrologie RF et optique, interface segment sol –segment spatial, opérations.
 - proposition d'un jeu d'expériences en vol (manœuvres et pointages divers, perte et reconstruction de la formation etc ...)
 - optimisation l'autonomie des satellites au cours du vol
 - validation des performances des système mesures et contrôle

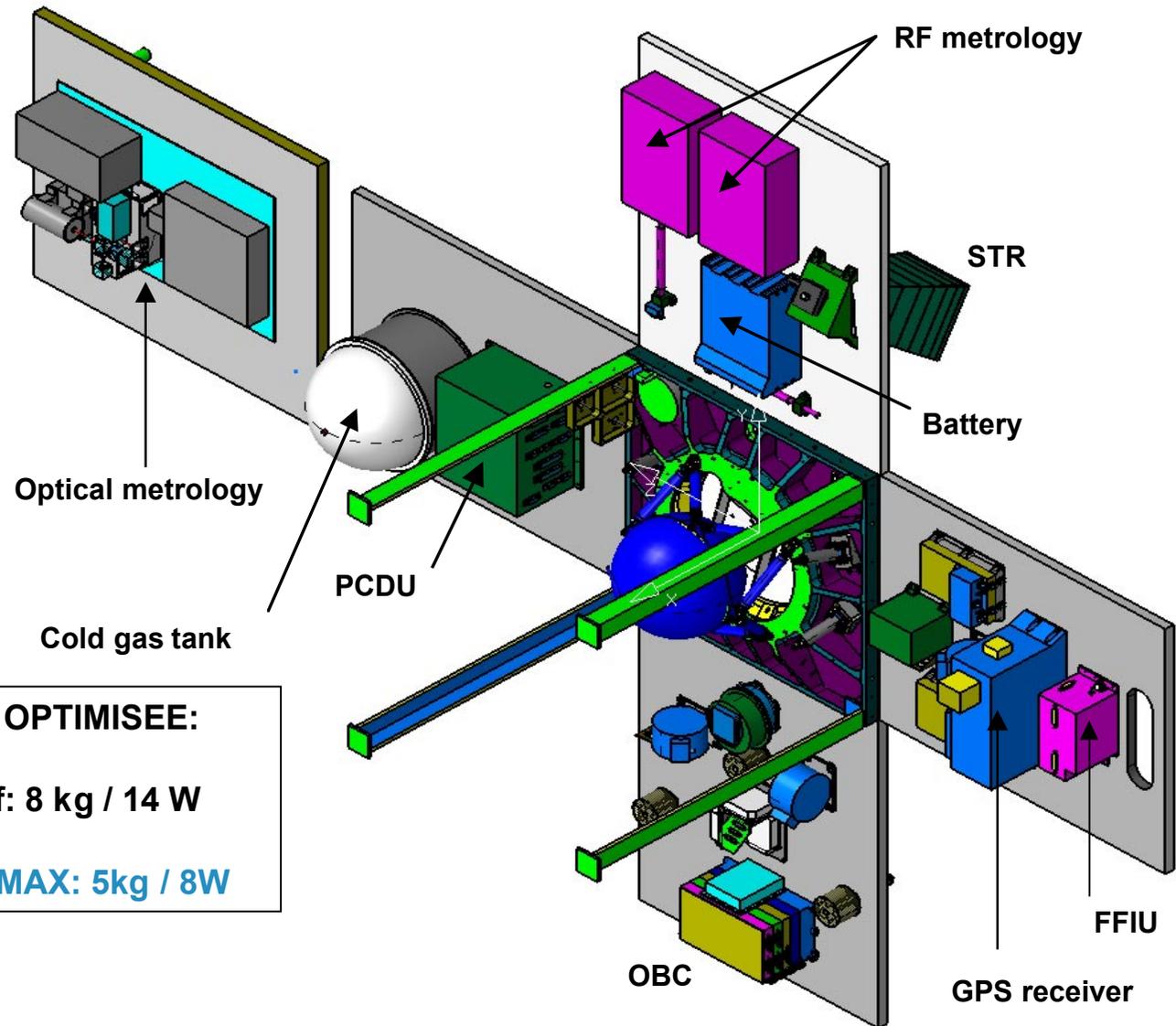
PROBA3 Et une opportunité de déjà « faire de la science »



- Lancement en 2008, en piggy-back d'ARIANE 5.
- 2 satellites montés sur ASAP 5, Myriade servant de support pour démontrer la faisabilité
- Mission de 6 mois sur orbite GTO, avec Opérations en orbite décomposées en 4 phases.
- L'étude à venir en juin étudiera la possibilité d'embarquer une charge utile encore à définir (synthèse d'ouverture optique, X ou gamma ray): une opportunité pour tester dans l'espace la technologie lentille ?



PROBA3 : Design préliminaire du satellite emportant une métrologie optique optimisée



UNE METROLOGIE OPTIQUE OPTIMISEE:

- Lateral grossier: 5 kg / 8 W
- Longitudinal absolu et relatif: 8 kg / 14 W
- Latéral fin: 2 kg / 8 W

➔ **Minimum nécessaire pour MAX: 5kg / 8W**

QUELLE APPROCHE SYSTÈME POUR LA MISSION MAX?

Quelques réflexions préliminaires, afin d'identifier les enjeux techniques et les trade-offs qu'il faudra aborder dans le cadre d'une étude de phase A

Rappel des enjeux associés à MAX



- **Enjeux techniques principaux de la mission:**
 - Conception mécano-thermique d'une lentille γ de grand diamètre (2.5 m)
 - Aménagement du télescope gamma sur 2 satellites volant en formation;
 - Mission d'une durée de 2 ans, basée sur des temps de pose de 15 jours par cible en moyenne, et de manière pas forcément continue;
 - Observation dans toutes les directions de la voûte céleste, y compris vers le soleil;
 - Pointage du télescope à mieux que 15 arcsec;
 - Nécessité d'un fond environnemental radiatif calme.
- **Enjeux programmatiques:**
 - Coût mission accessible (150 à 200 M_);
 - Lancement autour de 2012;
 - Le retour scientifique est l'objectif premier; le recours au vol en formation doit présenter des risques maîtrisés et acceptables;
 - Minimum de développement non-récurrents en dehors de la charge utile et du vol en formation.

Choix de l'orbite et du lanceur



- **Besoin liés à l'orbite:**
 - Loin des ceintures de Van Allen
 - Champ gravitationnel « plat » pour le vol en formation
 - Coût de lancement & mise à poste réduits
 - Suivi depuis le sol minimum (en durée en et nombre de stations)
- **Analyse préliminaire:**
 - Masse au lancement estimée dans la gamme d'une tonne (2 plateformes à 300 kg chacune, et le télescope gamma à 300 kg typiquement);
 - Orbites envisagée HEO (supérieure à GTO), ou circulaire à 2 ou 3 jours de période, ou autour des points de Lagrange L1/L2 Terre-Soleil
 - les lanceurs accessibles sont Soyouz-Fregat ou Ariane 5 partagé GTO
 - Les orbites HEO ou circulaires requièrent un étage propulsif spécifique
- **Scénario a priori optimal: une orbite de Lissajous de grande amplitude autour de L1, avec un lancement par Soyouz-Fregat (capacité = 1.7 t vers L2, référence Gaia)**

Choix d'une architecture système pour le vol en formation



- **Fonctionnalités du satellite porte-lentille:**
 - Aménagement mécanique-thermique de la lentille gamma;
 - Pointage absolu de la lentille, à mieux que 15 arcsec, vers les cibles d'intérêt;
 - SCAO classique orbite lointaine: mesure gyro-stellaire, actuation à roues, propulsion N₂H₄ (ou gaz froid?) pour MMaP et désaturation des roues;
 - Aménagement des équipements pour la métrologie intersatellite (RF et optique passif).
- **Fonctionnalités du satellite porte-détecteur:**
 - Aménagement mécanique-thermique-puissance-télémesure du plan focal;
 - Asservissement position-attitude par rapport au foyer de la lentille;
 - SCAO dédié FF: mesure gyro-stellaire + métrologie intersatellite, actuation à gaz froid, propulsion N₂H₄ pour MMaP.
 - Aménagement des équipements pour la métrologie intersatellite (RF et optique actif);
 - FDIR système pour le vol en formation.

Choix d'un concept opérationnel



- **Phase de déploiement: il semble préférable de séparer les deux satellites dès la fin du vol Fregat:**
 - moyennant le maintien d'une distance inter-satellite suffisante pour éviter les collisions (y compris les corrections de trajectoire)
 - tout en les gardant à bonne distance (quelques 10 km) pour activer la métrologie RF grossière de surveillance;
 - Et en les opérant quasi-indépendamment depuis le sol jusqu'à l'acquisition de la formation de travail.
- **Phase d'observation scientifique**
 - Acquisition des cibles: pointage du satellite porte-lentille; puis ralliement du satellite détecteur, à priori avec de la propulsion N₂H₄ (pour minimiser la durée de la manœuvre et la masse d'ergol)
 - Point à regarder: cibles accessibles selon le jour de l'année (contraintes de pointage soleil → configuration des générateurs solaires)
 - Tous les n jours, le satellite porte-détecteur se pointe vers la Terre pour descendre en quelques heures les TM scientifiques (via une antenne moyen gain fixe) → aller-retour pointage sur gyro.

Approche pour les plate-formes des satellites



- **Pour un tir en 2012, il est vraisemblable que les produits plate-forme actuels (tels Myriade) seront remplacés par des produits de nouvelle génération plus performants**
- **Les plates-formes issues des missions en orbite basse nécessitent des modifications significatives pour s'adapter aux orbites lointaines:**
 - points de Lagrange ou orbite à 3 jour de période = plus proche de l'interplanétaire que de l'orbite basse
- **Au point de vue du développement** (ingénierie, achat des équipements, gestion des rechanges, logiciel, bancs AIT), **et des opérations en orbite** (interface bord-sol, procédures opérationnelles, suivi technologique), **il semble préférable d'avoir la même avionique pour les deux satellites de la formation**

CONCLUSIONS



- **Au delà de l'intérêt scientifique et de l'originalité du concept de lentille gamma, cette évaluation préliminaire de la mission MAX peut se résumer ainsi:**
 - Des enjeux technologiques concentrés pour l'essentiel sur deux éléments: la lentille gamma de grand diamètre, et le vol en formation binaire dans la classe du mm (voire 100 microns).
 - Les briques technologiques et/ou les pré-développements en cours dans ces deux domaines paraissent suffisamment avancés pour asseoir la crédibilité du projet, dans le cadre calendaire et budgétaire établi par le CNES.
 - Des solutions existent ou existeront pour les plates-formes des satellites
- **EADS Astrium est prêt à supporter la communauté MAX dans ses domaines d'activités traditionnels tels l'instrumentation, le vol en formation, et plus généralement les analyses techniques et programmatiques de systèmes spatiaux scientifiques.**