

Préparation de la mission Darwin

Eric Thomas
RT/SO
Alcatel Space Industries

I Introduction sur les interféromètres stellaires

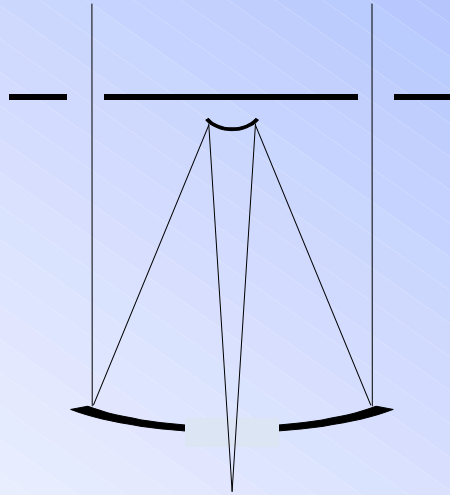
- Types d'interféromètres
- Modes de recombinaisons

II Détection de planètes extra-solaires : DARWIN

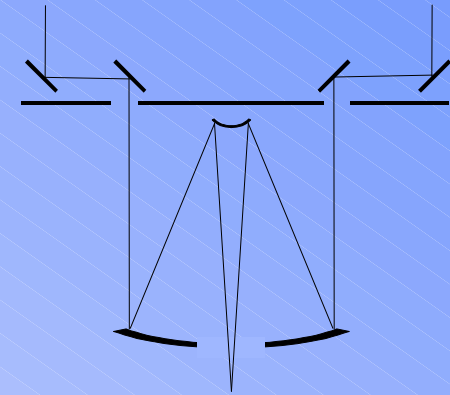
- Contexte
- La mission Darwin
- Interférométrie à frange noire
- Configuration interférométrique

III Développements et précurseurs

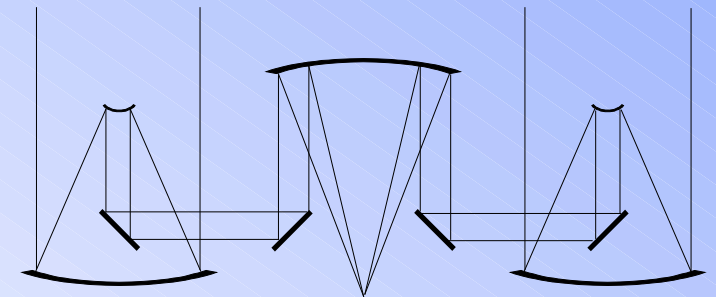
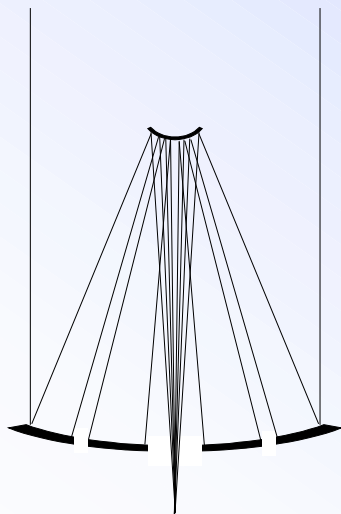
Introduction sur les interféromètres stellaires

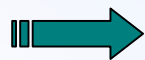
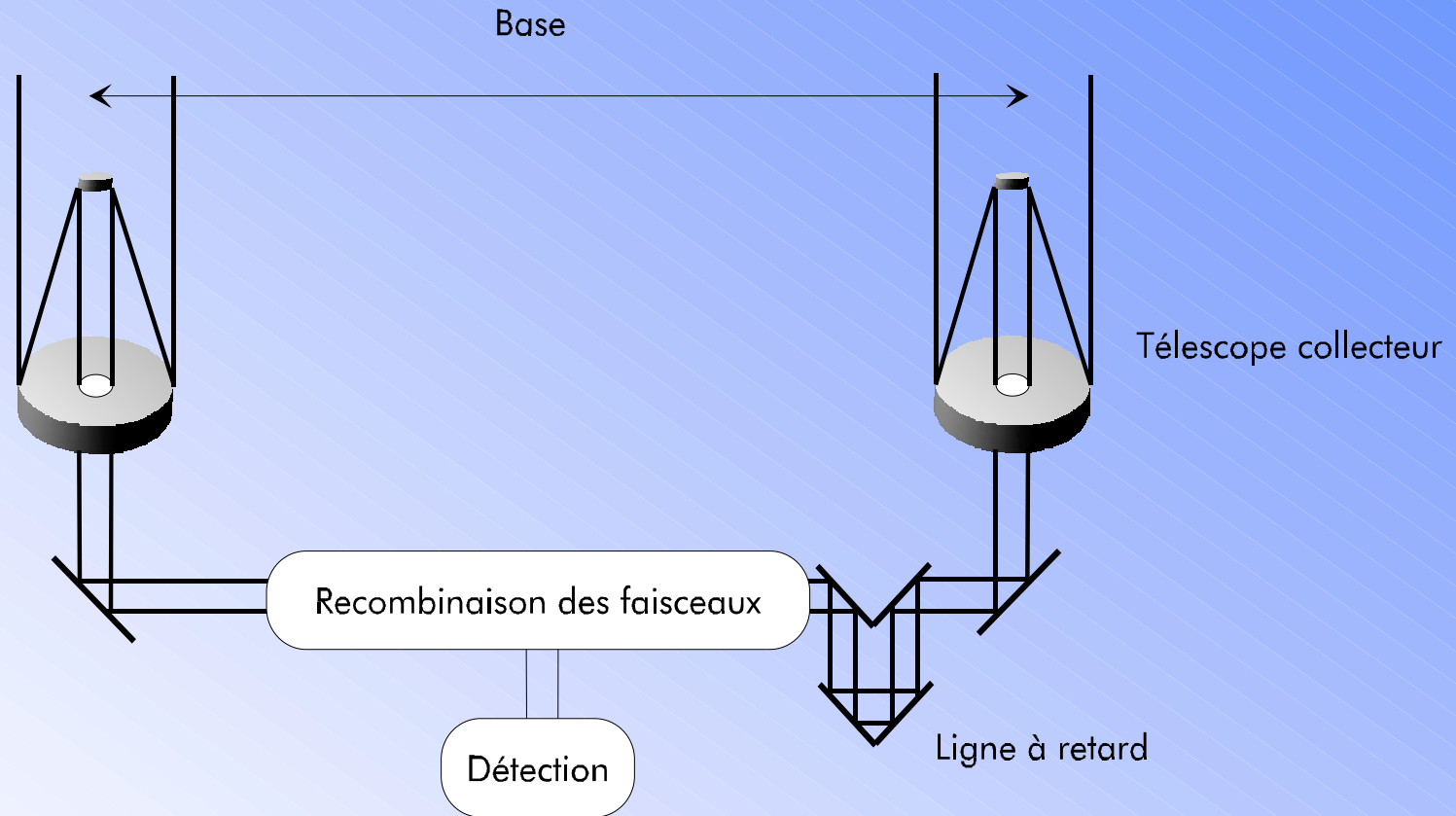


Interféromètre de Fizeau



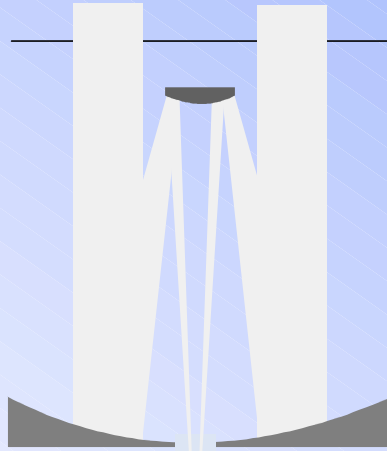
Interféromètre de Michelson



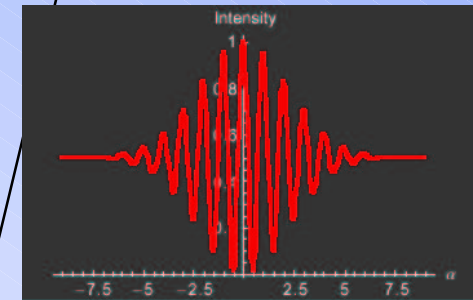
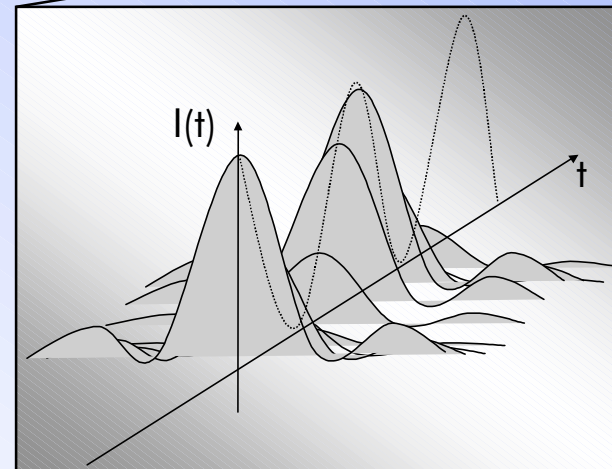
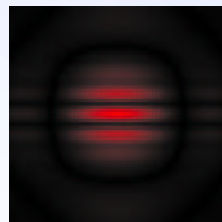
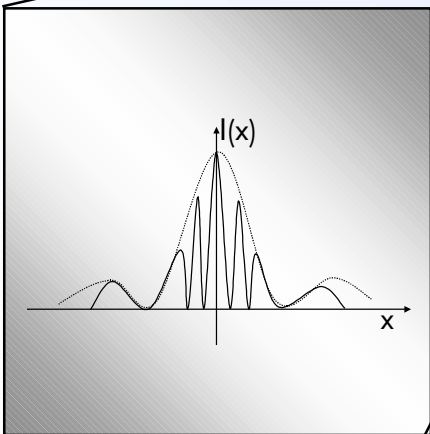
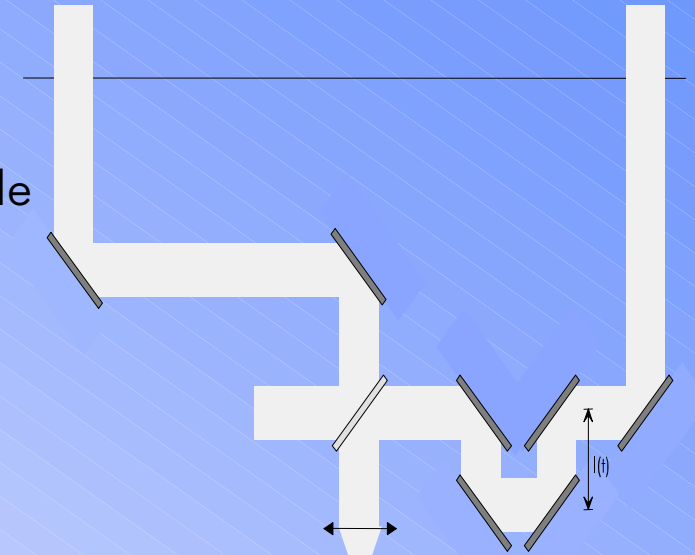


résolution angulaire : λ/B

Plan image ou
multi-axiale
Modulation spatiale



Plan pupille ou
mono-axiale
Modulation temporelle



Détection de planètes extra-solaire : Darwin

- ▼ Etude système Darwin réalisée par Alcatel Space Industries (1997 - 2000)
 - Interféromètre
 - Système
 - Optique
 - Analyse thermique
 - Vol en formation

- ▼ Analyse mission réalisée par l'ESOC (Centre d'Opérations de l'Agence Spatiale)

Mode Coronographie

- ▼ Détection directe et caractérisation d'exo-planètes de type Terre, en orbite autour d'étoiles proches (jusqu'à 20 pc*)
 - Possibilité de développer la vie $T \sim 300 \text{ K}$
 - Présence de "formes de vie" $\text{O}_3, \text{CO}_2, \dots$
 - Autour de 200 étoiles candidates potentielles identifiées.

Mode Imagerie

- ▼ Imagerie par synthèse d'ouverture dans l'infra-rouge thermique.
 - Formation des Galaxies.
 - Formation des étoiles et systèmes planétaires
 - AGNs,...

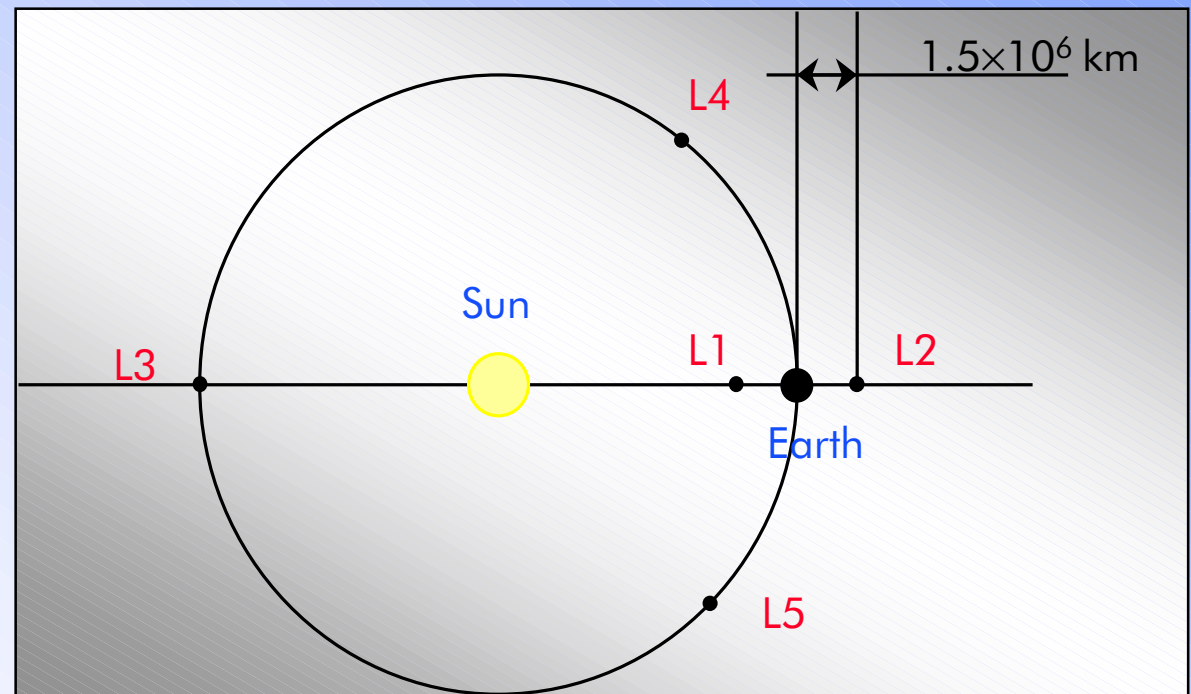
* 1 pc = 3.26 a.l.

▼ Lanceur: Ariane-5

▼ Orbite: L2

▼ Durée de la mission: 5 ans

▼ Miroirs monolithiques

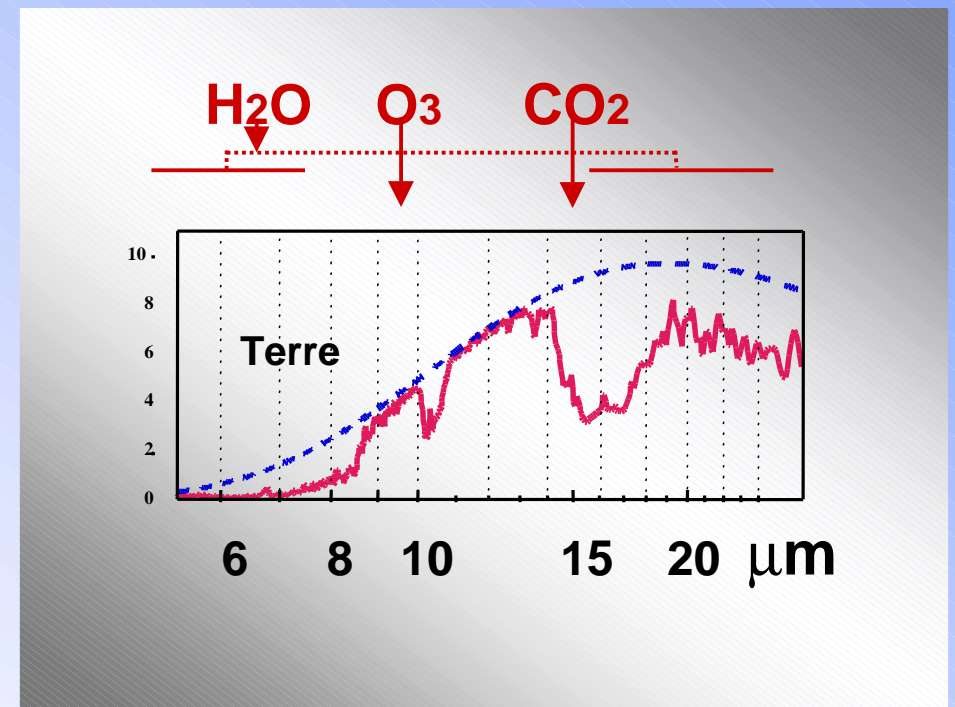
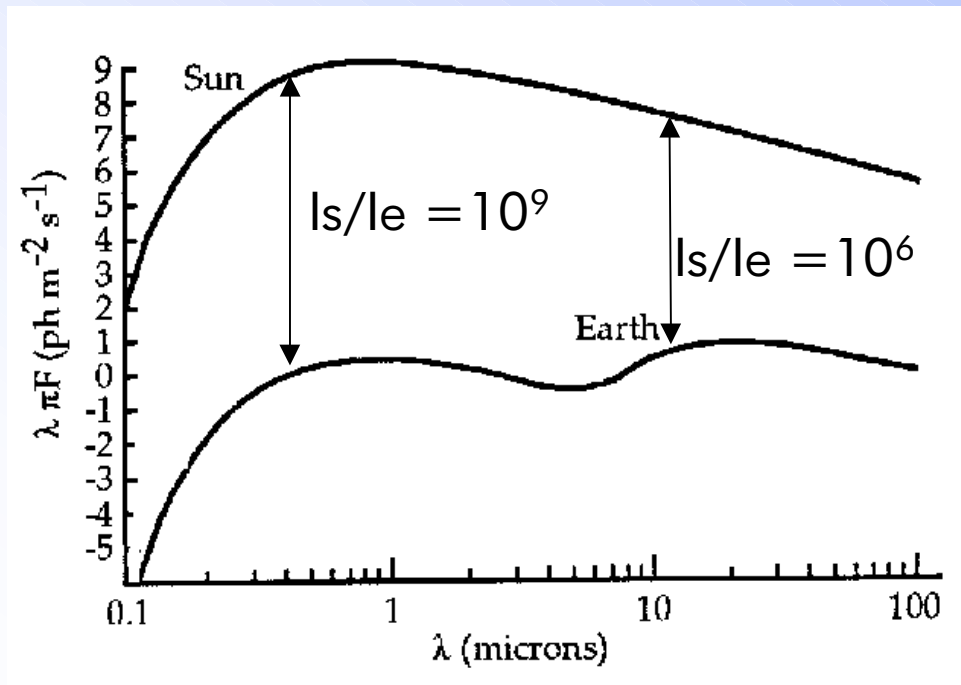


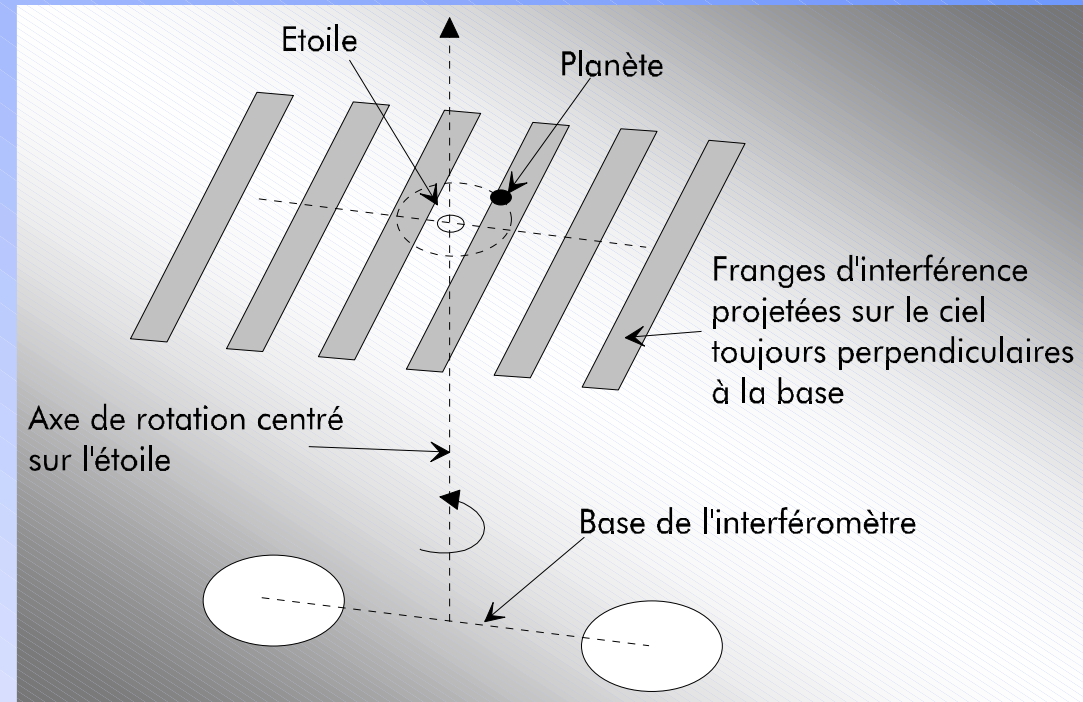
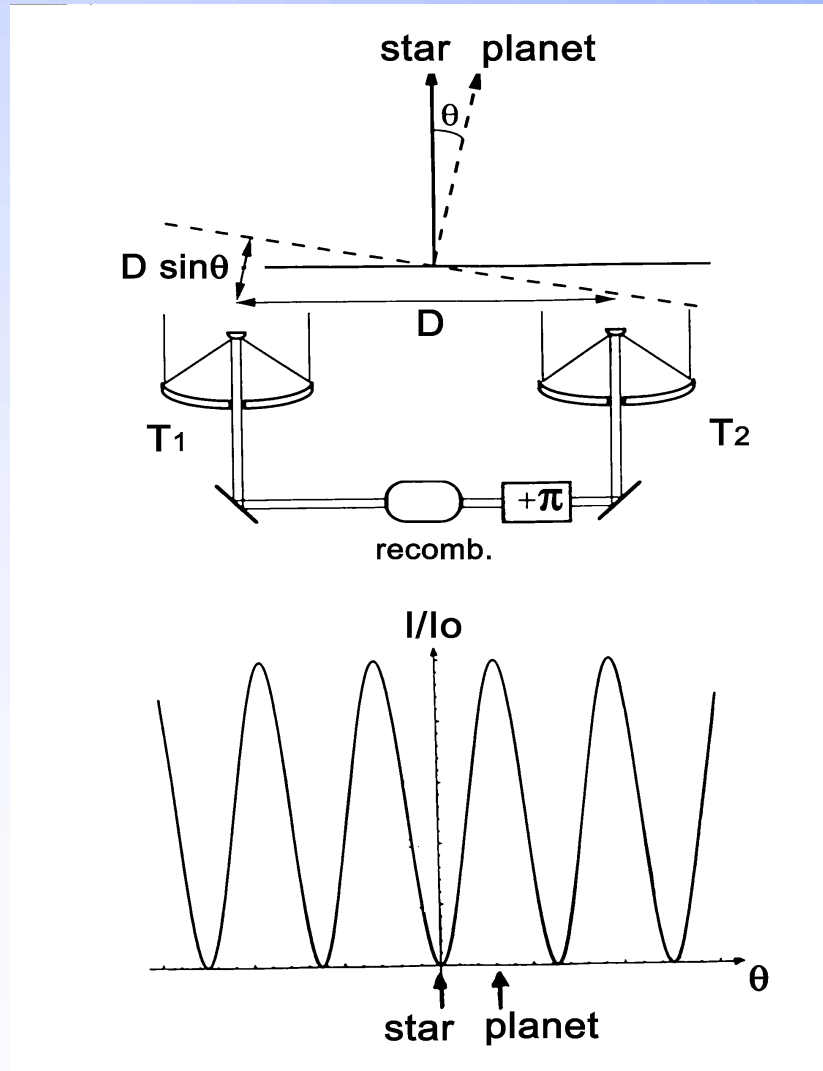
▼ Détection directe d'objets de type Terre

- Grande dynamique
- Haute résolution angulaire

→ Séparation angulaire entre 0.005 et 0.1 arcsec

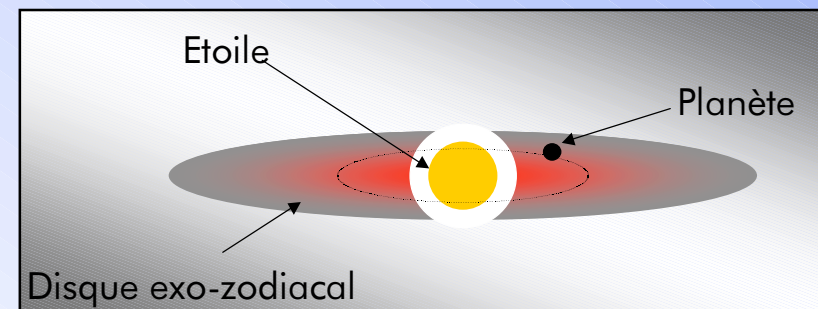
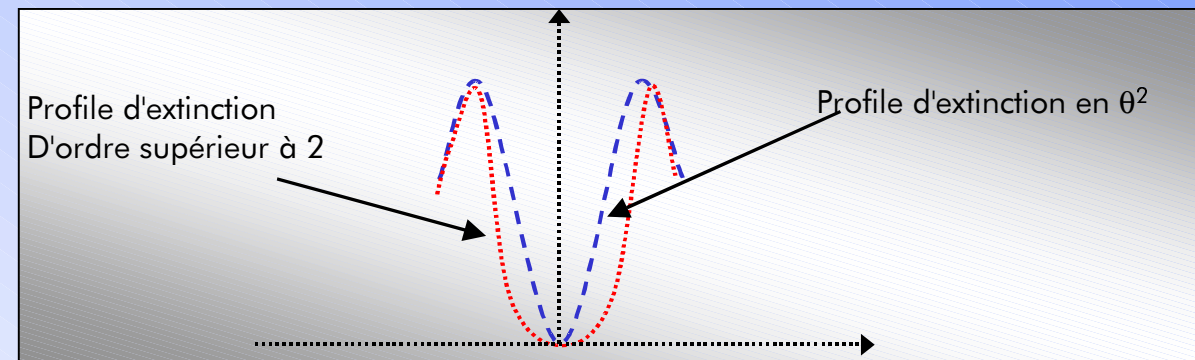
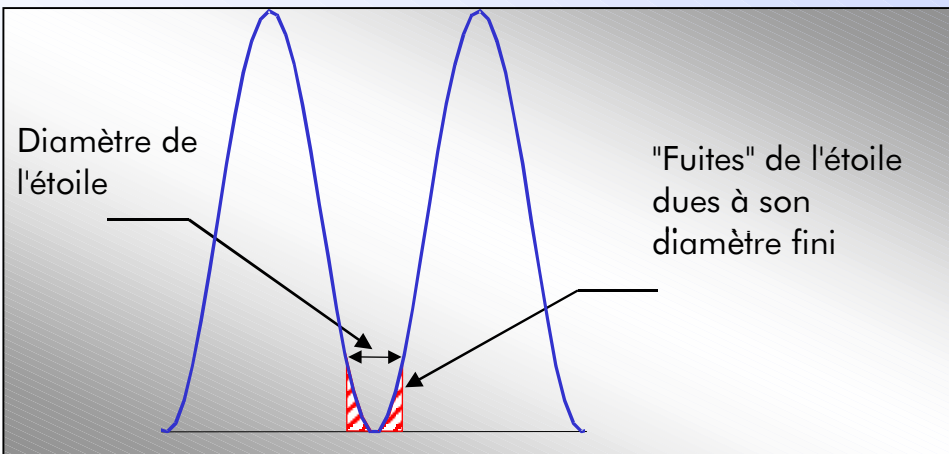
▼ Spectroscopie : détection de raies dans le spectre thermique



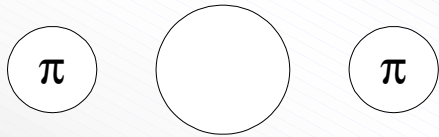


▼ Caractérisation des différents concepts

- ❑ Extinction sur l'axe : valeur du déphasage achromatique
- ❑ Taux d'extinction : profil d'extinction
- ❑ Détection du signal planète : modulation
- ❑ Discrimination des signaux : symétrie de la carte de transmission

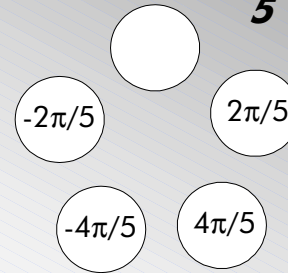


Angel Cross, or Degenerated Angel Cross (DAC)



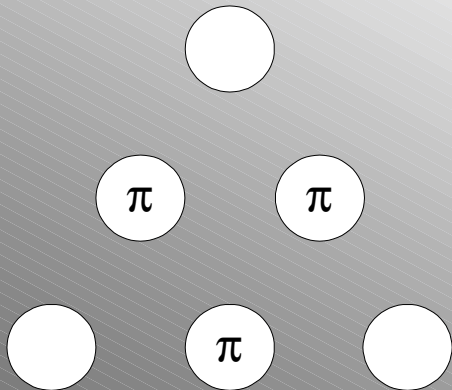
profile en θ^4

5 Telescopes Circular Array (A.Léger, 1995)



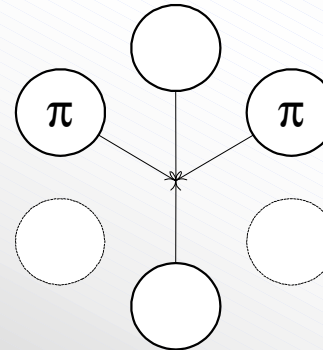
- non axi-symétrique
- modulation par rotation des bases
- déphasage achromatique $2\pi/5$

3Dac, or Mariotti concept (J.M.Mariotti, 1998)



- non axi-symétrique
- chaque côté forme un DAC :
premier étage de recombinaison, réalisation du nulling
- recombinaison des DAC par paires
deuxième étage de recombinaison, modulation interne
- déphasage achromatique π
- **distribution noncirculaire :**
 - lignes à retard différentielles
 - ou schéma de recombinaison complexe
 - ou distribution non co-planaire

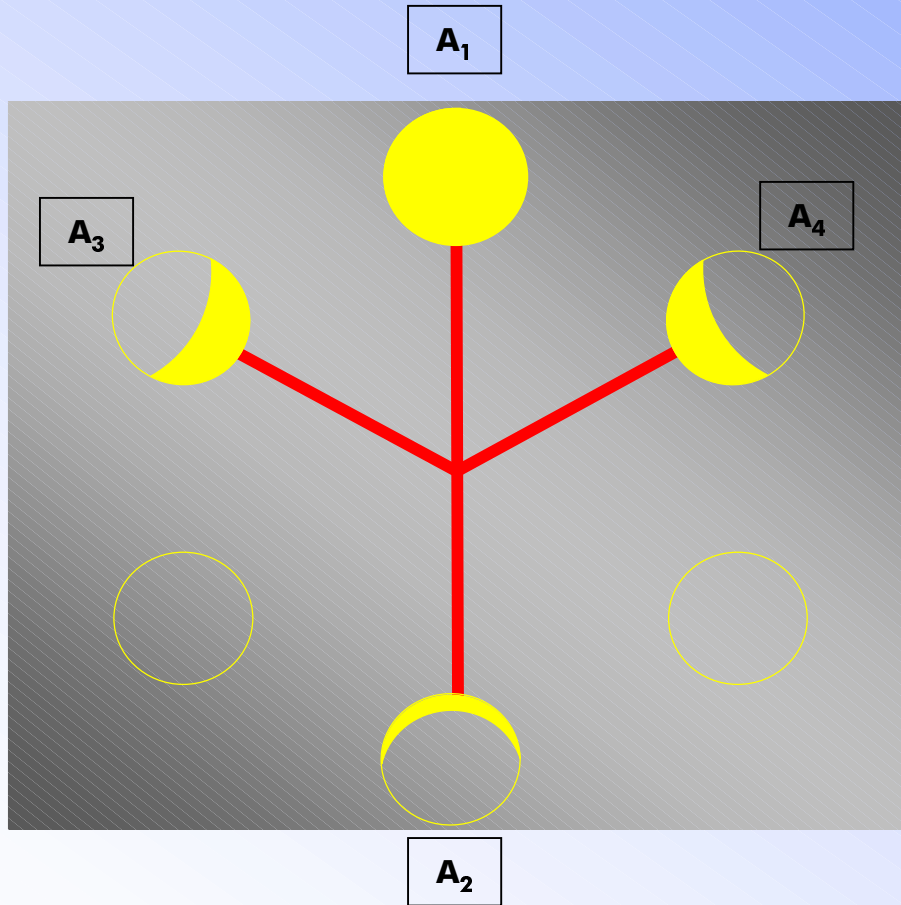
Generalized Angel Cross or Robin Laurance Concept, (A.Karlson 1999)



- non axi-symétrique
- assemblage de 3 GAC :
premier étage de recombinaison, réalisation du nulling
- recombinaison des GAC par paires
deuxième étage de recombinaison, modulation interne
- déphasage achromatique π
- distribution circulaire

Préparation de la mission Darwin

Interferomètre RL (3-GAC)



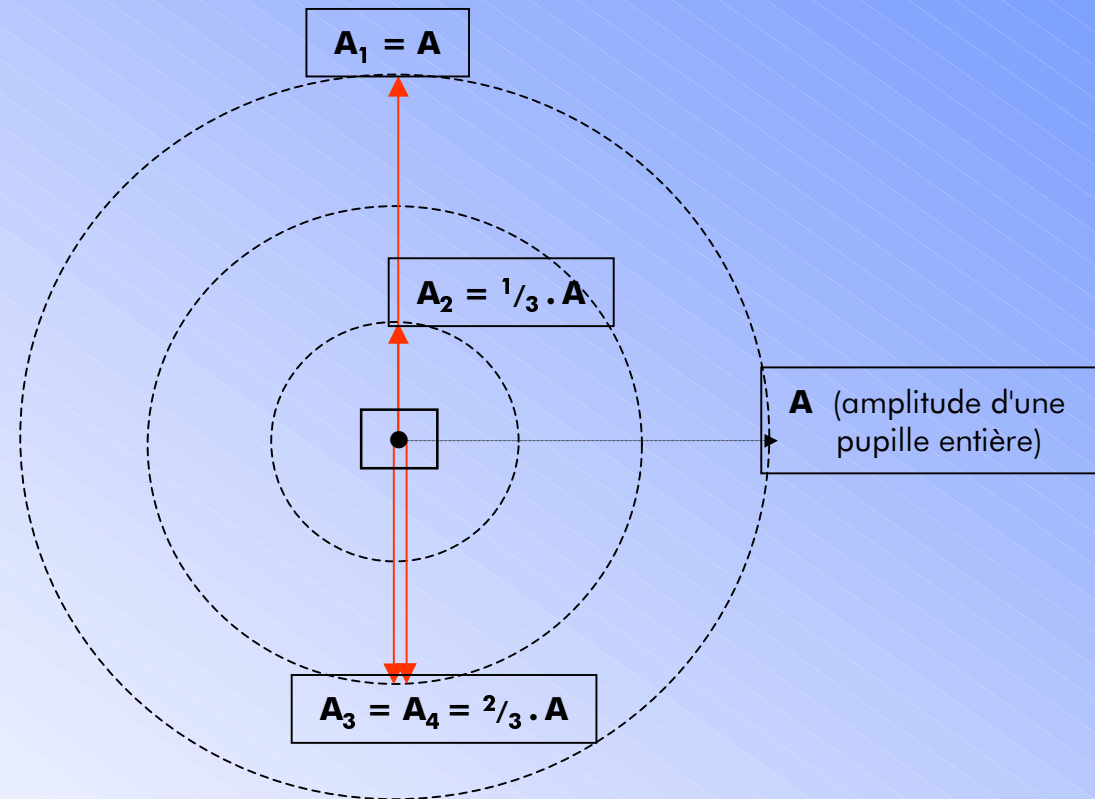
$$A_1 = A \quad \phi_1 = 0$$

$$A_2 = 1/3.A \quad \phi_2 = 0$$

$$A_3 = 2/3.A \quad \phi_3 = \pi$$

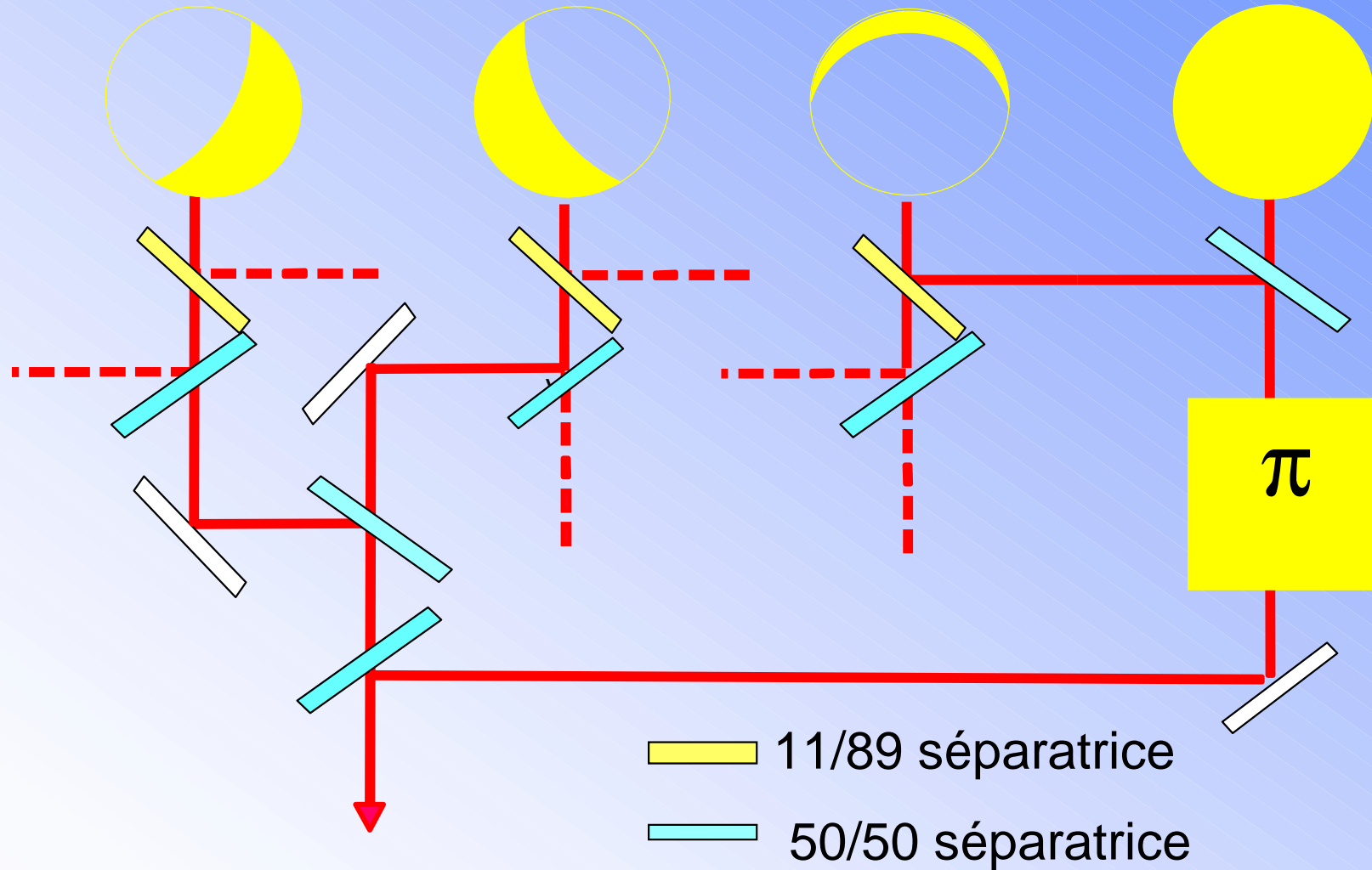
$$A_4 = 2/3.A \quad \phi_4 = \pi$$

Soit en représentation de Fresnel, **pour 1 GAC** :



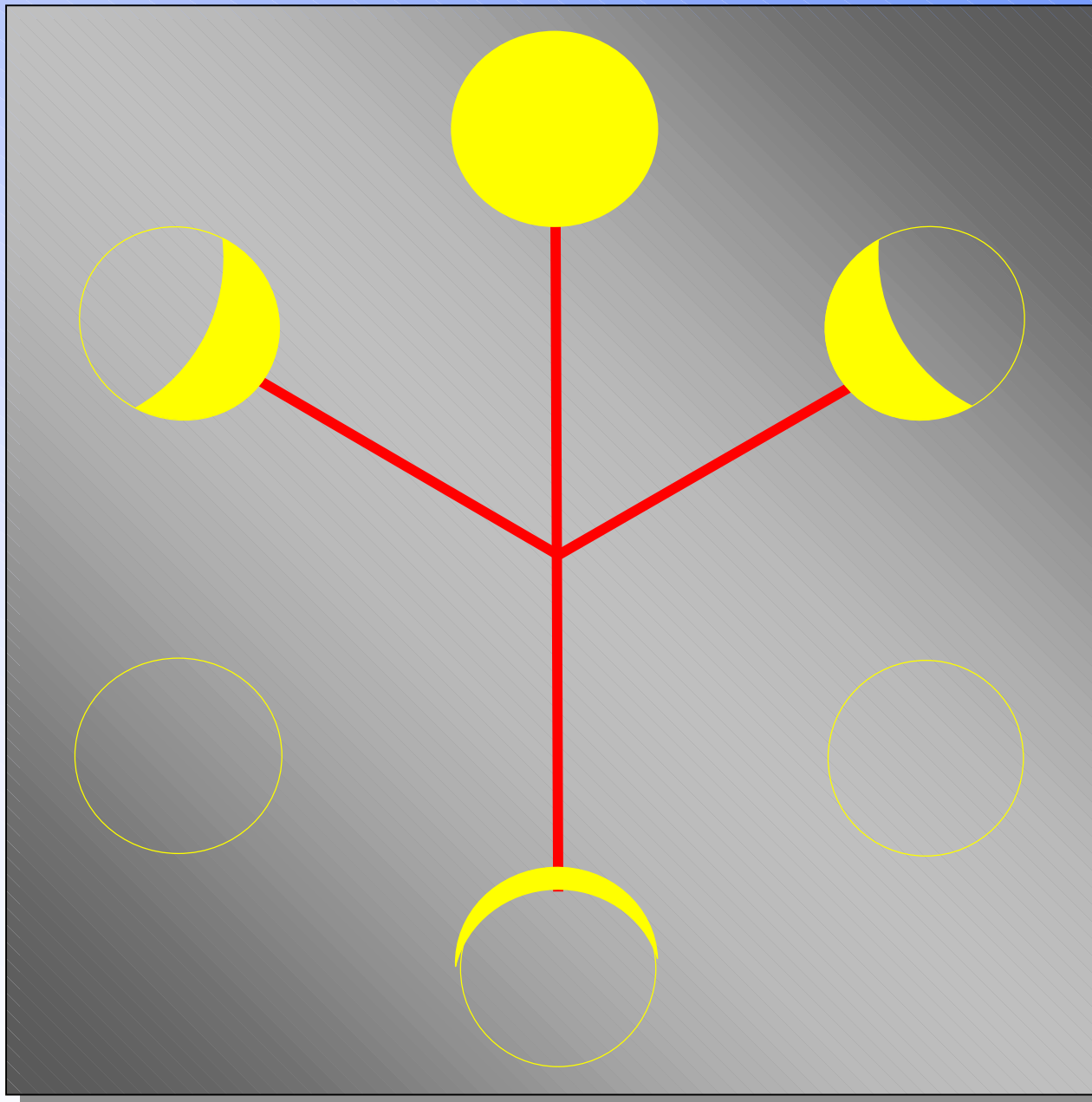
Préparation de la mission Darwin

Recombinaison des faisceaux



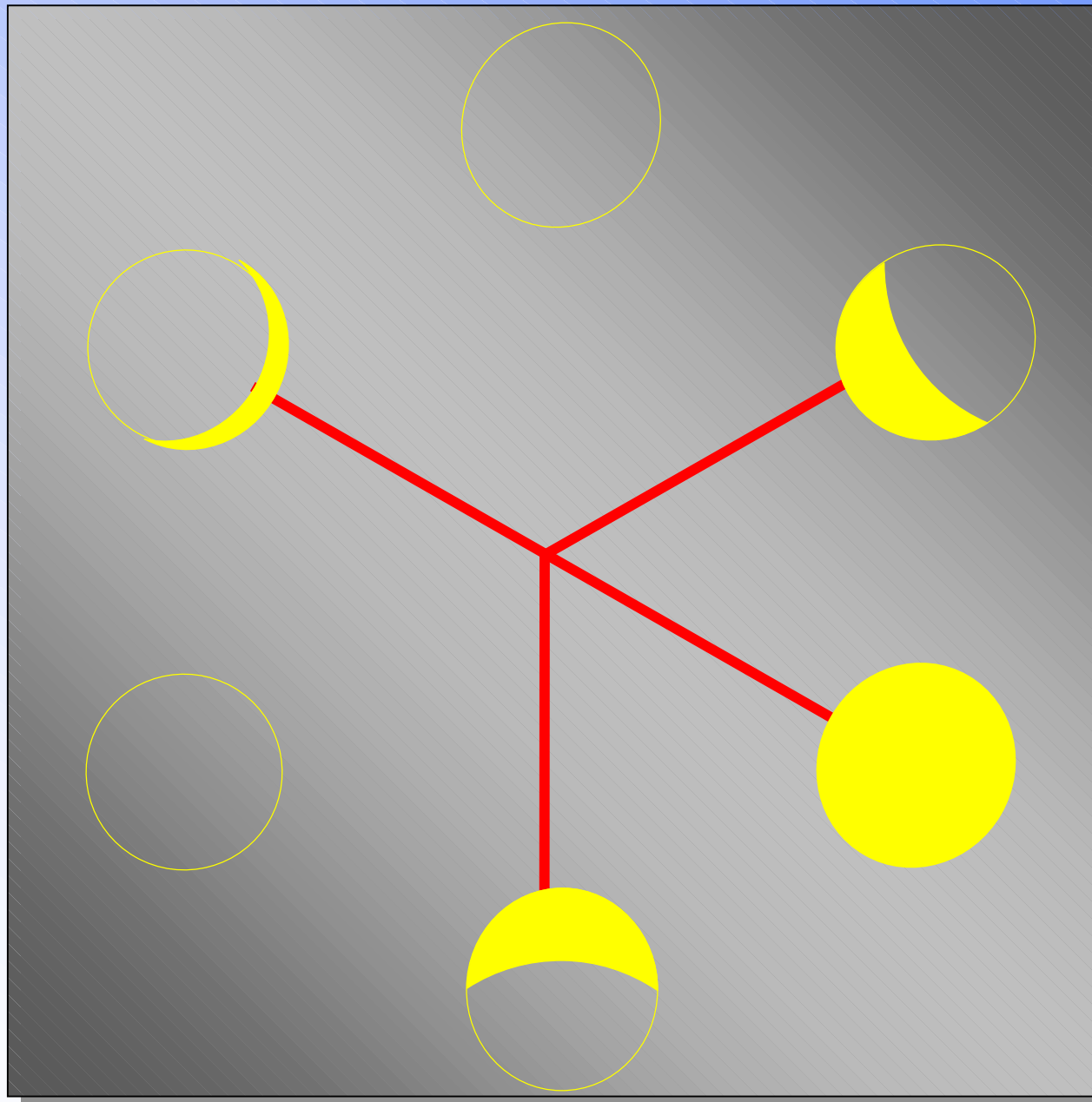
Préparation de la mission Darwin

Recombinaison des faisceaux



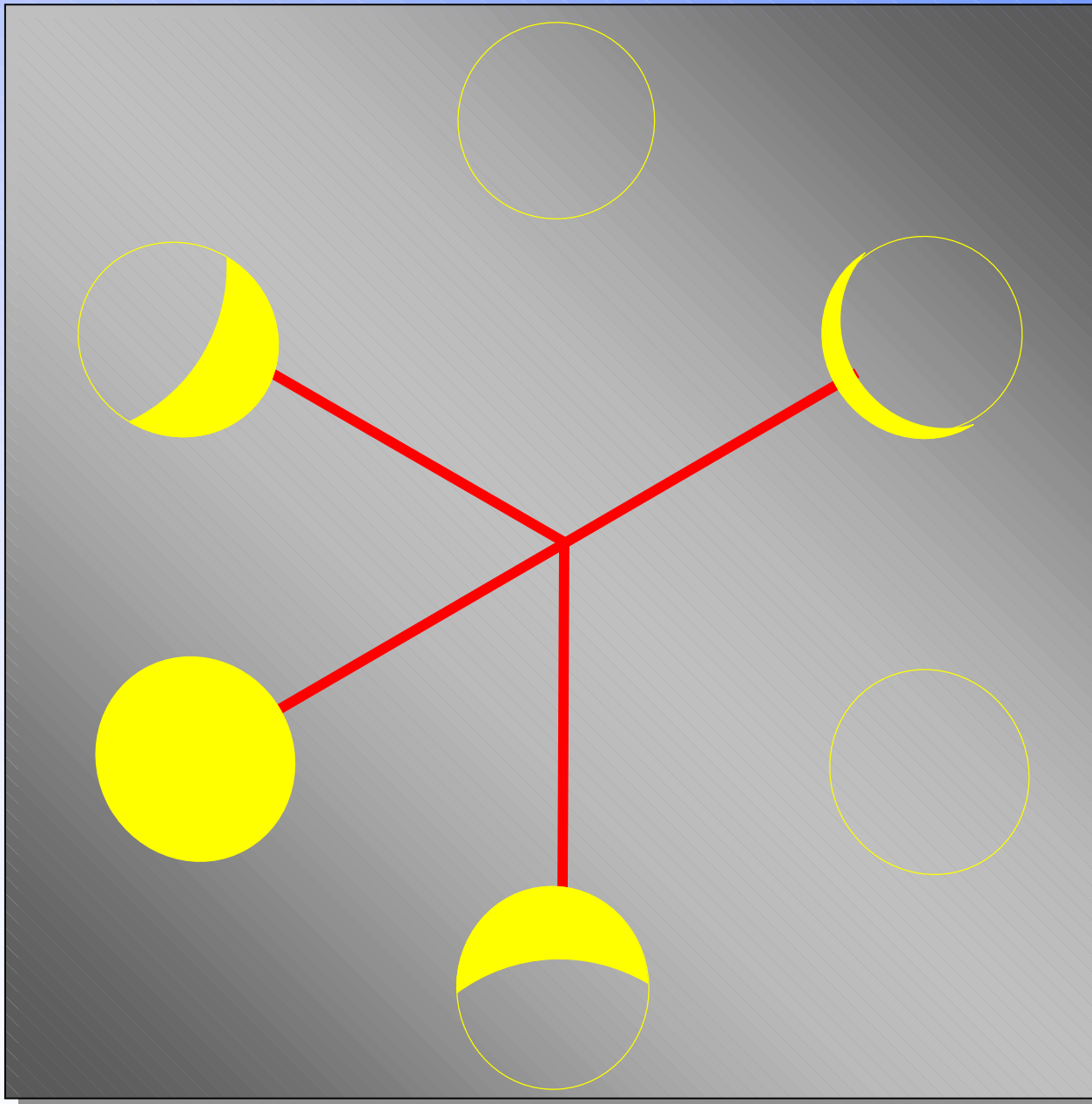
Préparation de la mission Darwin

Recombinaison des faisceaux



Préparation de la mission Darwin

Recombinaison des faisceaux



La flotille comprend :

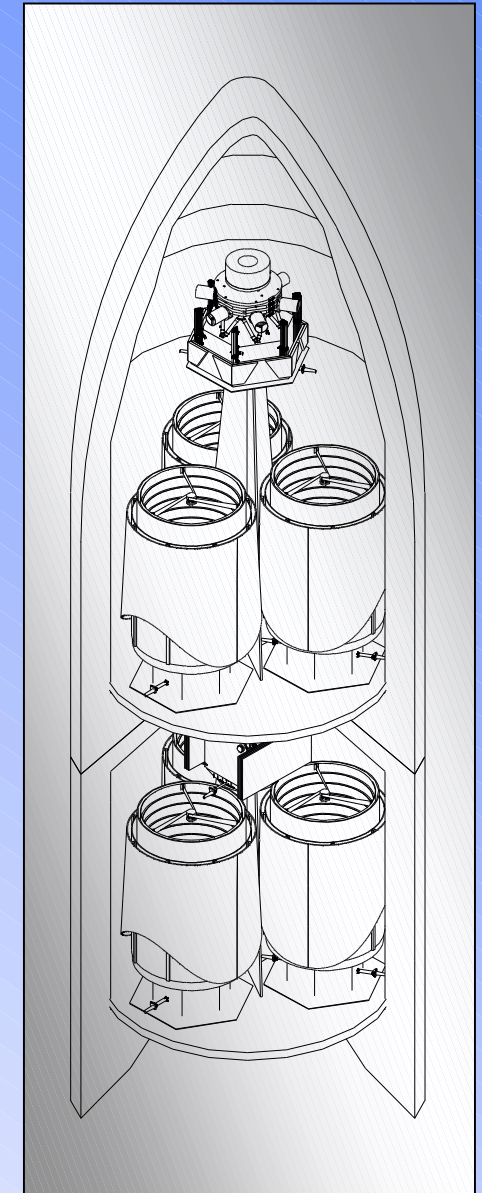
- ▼ 6 télescopes collecteurs de 1.5 m en vol libre
 - Collection du flux et transfert des faisceaux
- ▼ 1 satellite central
 - Recombinaison des faisceaux
- ▼ 1 satellite supplémentaire (maître).
 - Gestion de l'interféromètre
 - Référence hors plan
 - Gestion des données, communication avec la Terre.

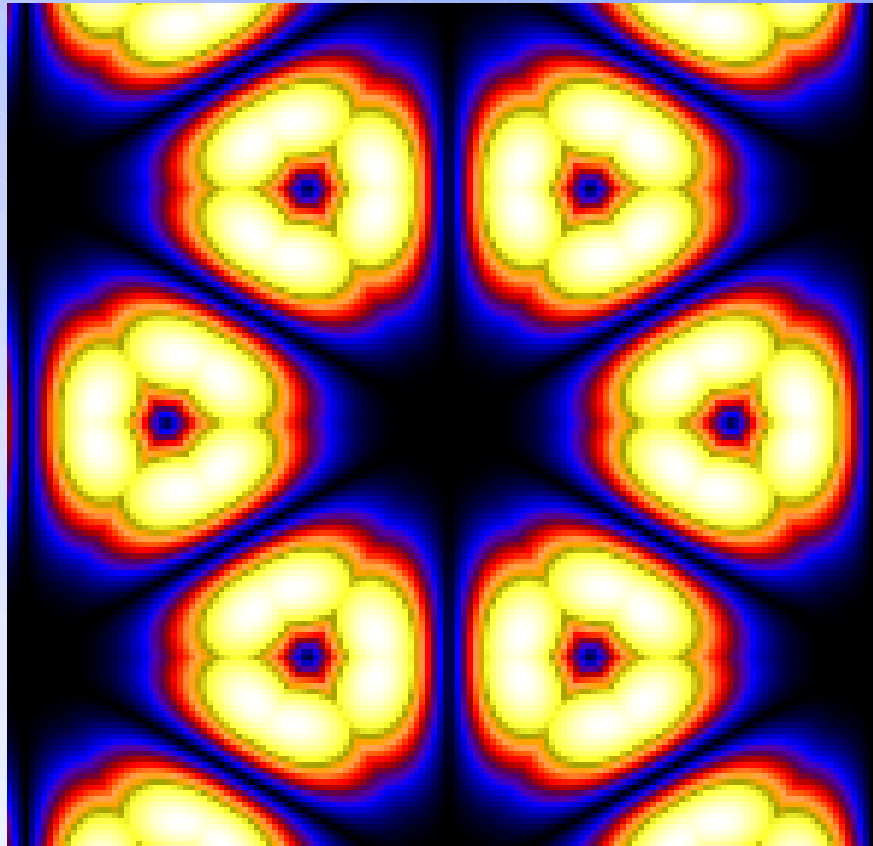


▼ **8 satellites** placés simultanément (Ariane 5E/CB, $h = 11.9\text{m}$)

▼ **4 satellites par niveau**

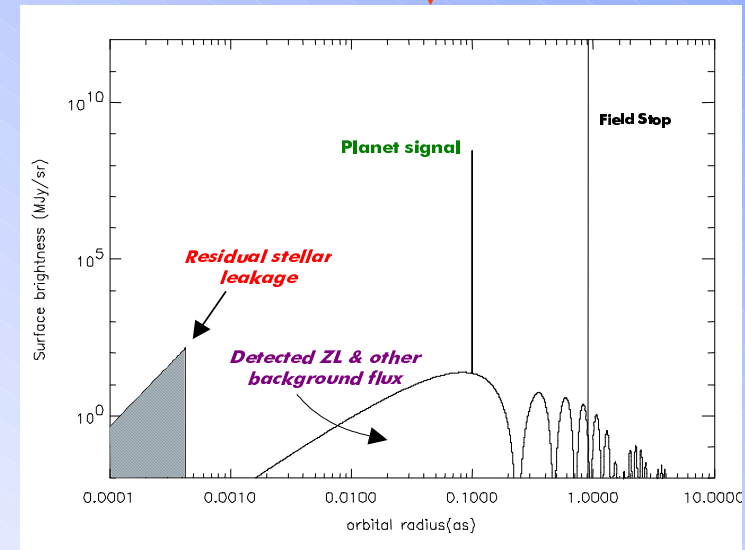
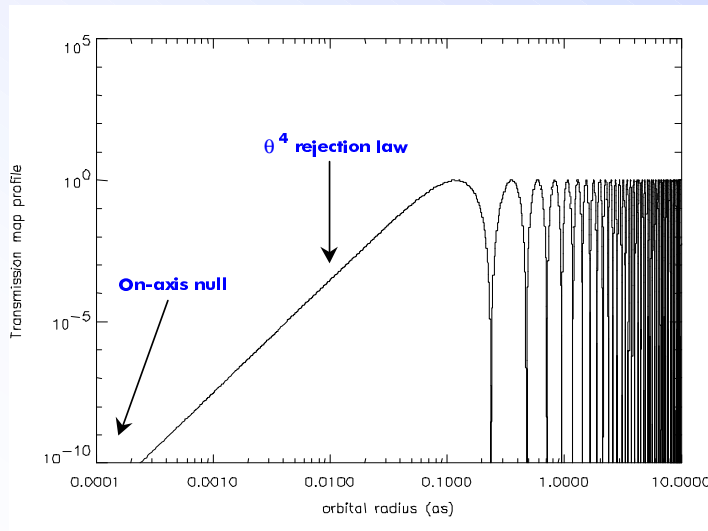
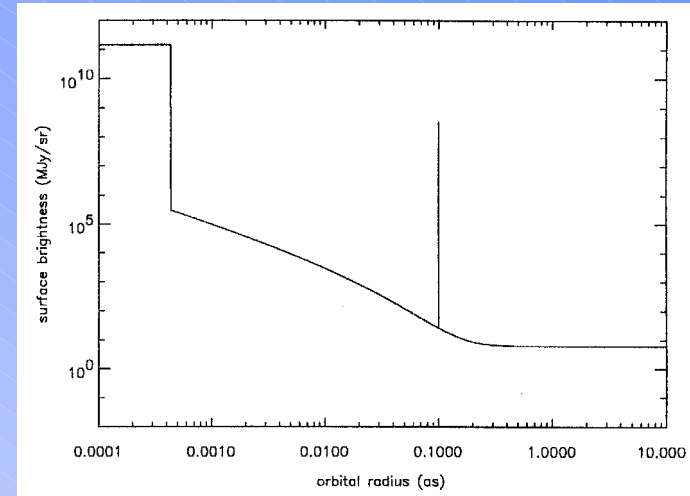
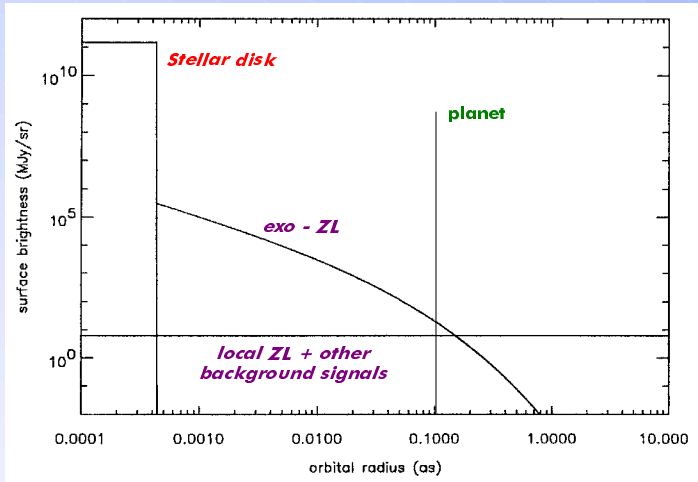
- 3 télescopes + le satellite maître sur le niveau bas
- 3 télescopes + le satellite de recombinaison sur le niveau haut



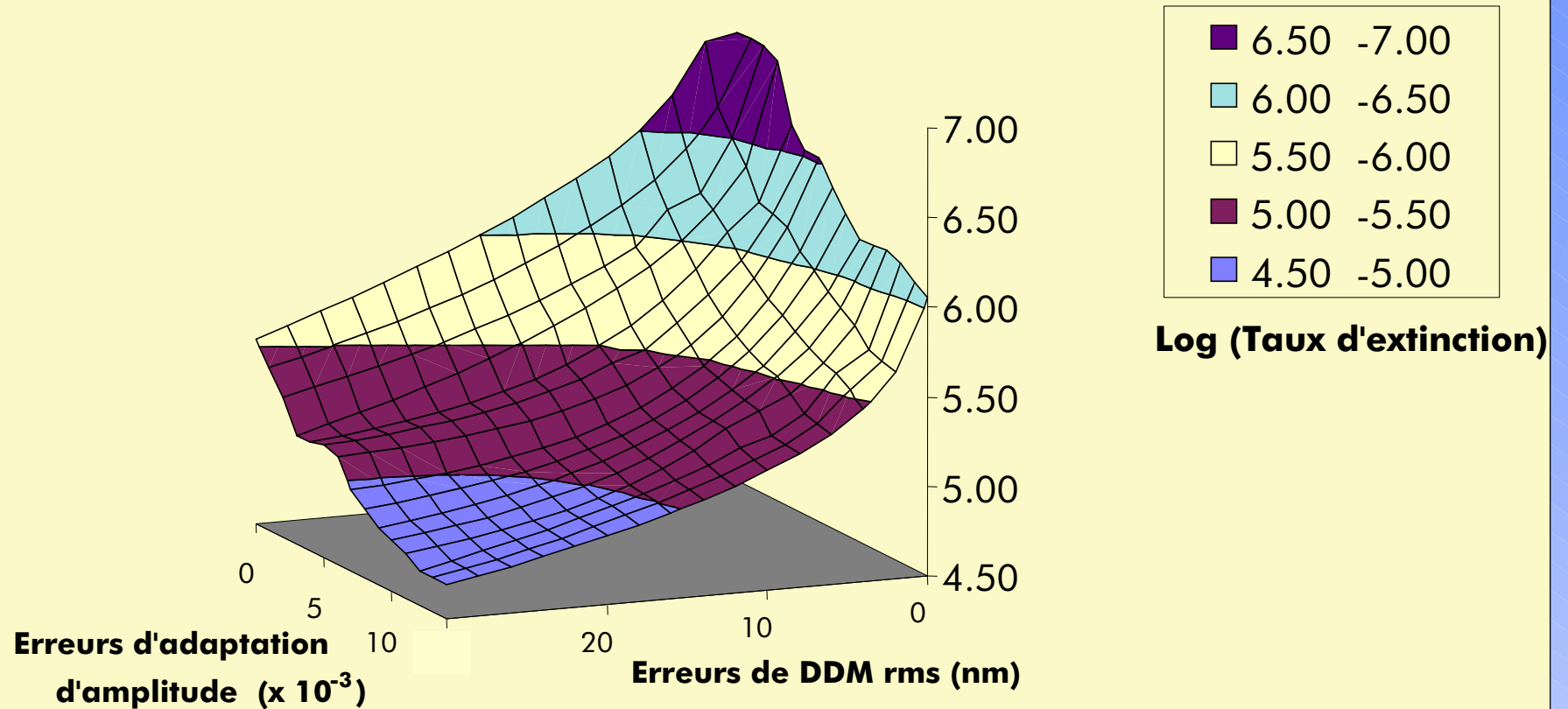


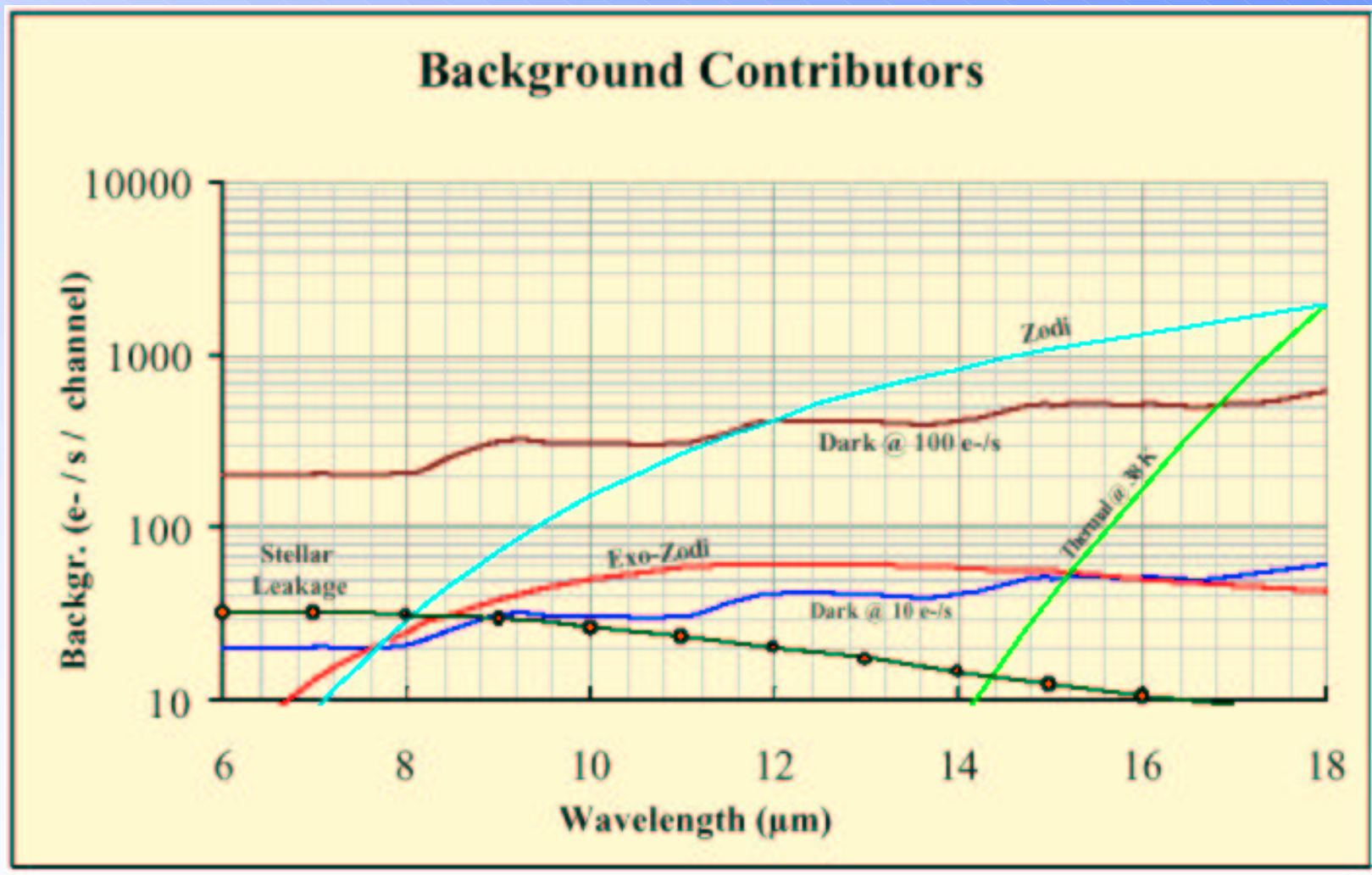
Préparation de la mission Darwin

Carte de transmission et extinction



Sensibilité du taux d'extinction pour un interféromètre de type 3-GAC





▼ Taux d'extinction de l'ordre de $10^5 \sim 10^6$ entre $6 \sim 18 \mu\text{m}$:

- Déphasage achromatique large bande
- $T < 40 \text{ K}$
- $\text{WFE} < \lambda / 1000$
- Précision sur la longueur des bases : 1 cm
- Différence de marche : 20 nm
- Pointage des télescopes : 24 mas
- Égalité des amplitudes : 10^{-2}

▼ Diamètre des télescopes limité par le lanceur AR5

- $\Phi \sim 1.5 \text{ m}$

Satellites placés
aléatoirement dans
une sphère (15 km)

Mode de Contrôle de la Base

Pointage: 1 arcsec

Précision sur la base = 1 cm
Attitude de l'ensemble: 0.1 deg.

Mode d'acquisition des franges

Acquisition des liens optiques

Gel des bases

Amortissement de la DDM externe

Franges acquises

Mode d'opération nominal

DDM contrôlée à 20 nm

Pointage contrôlé à 24 mas

Nouvelle cible /
modification des bases

▼ Architecture des télescopes (40 K):

- ❑ Concept Korsch (minimisation de la lumière parasite)
- ❑ Diamètre de la pupille = 1.5 m

▼ Camera grand champ :

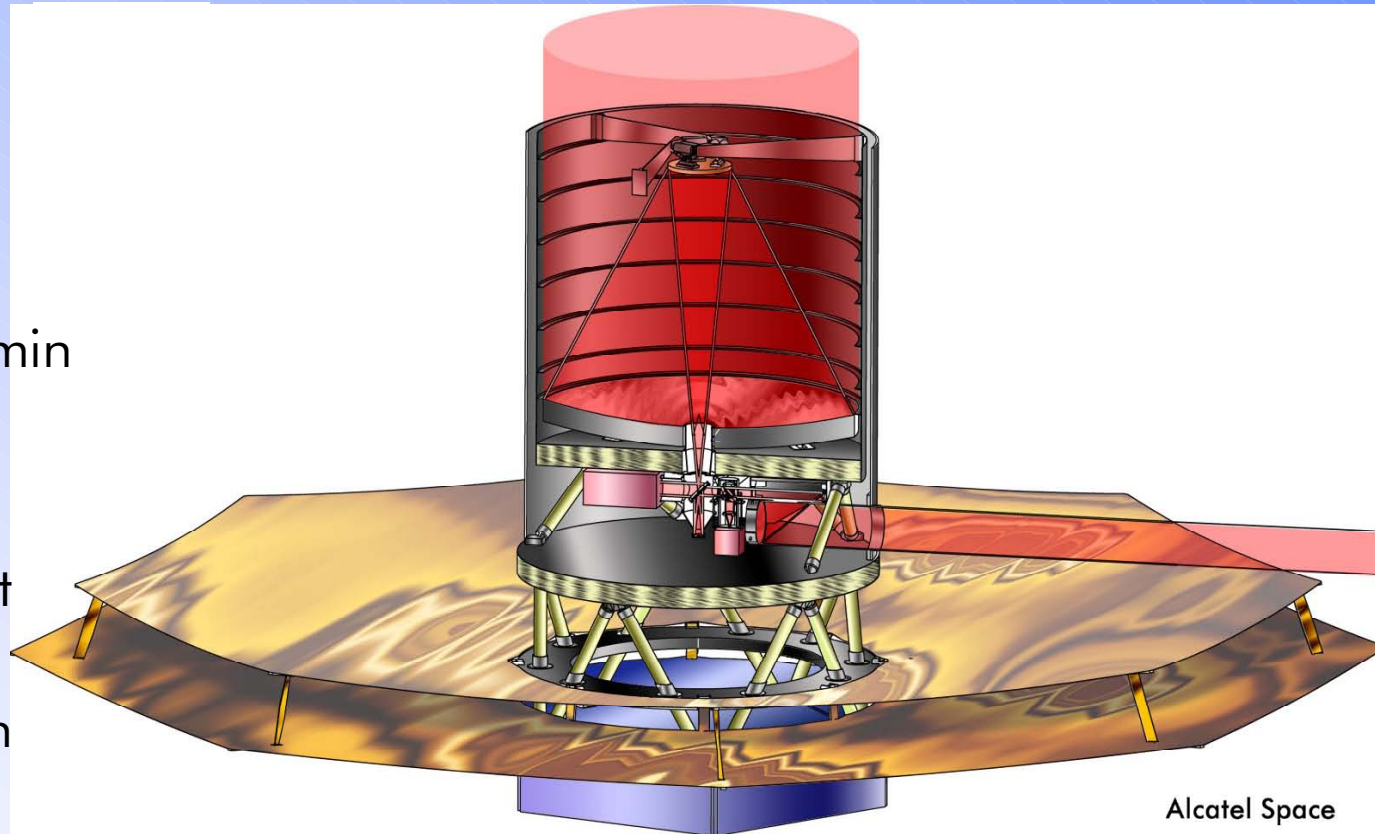
- ❑ Pointage des télescopes (≈ 8.5 mas)
- ❑ Champ de vue ≈ 2.7 arcmin

▼ Système de double champ :

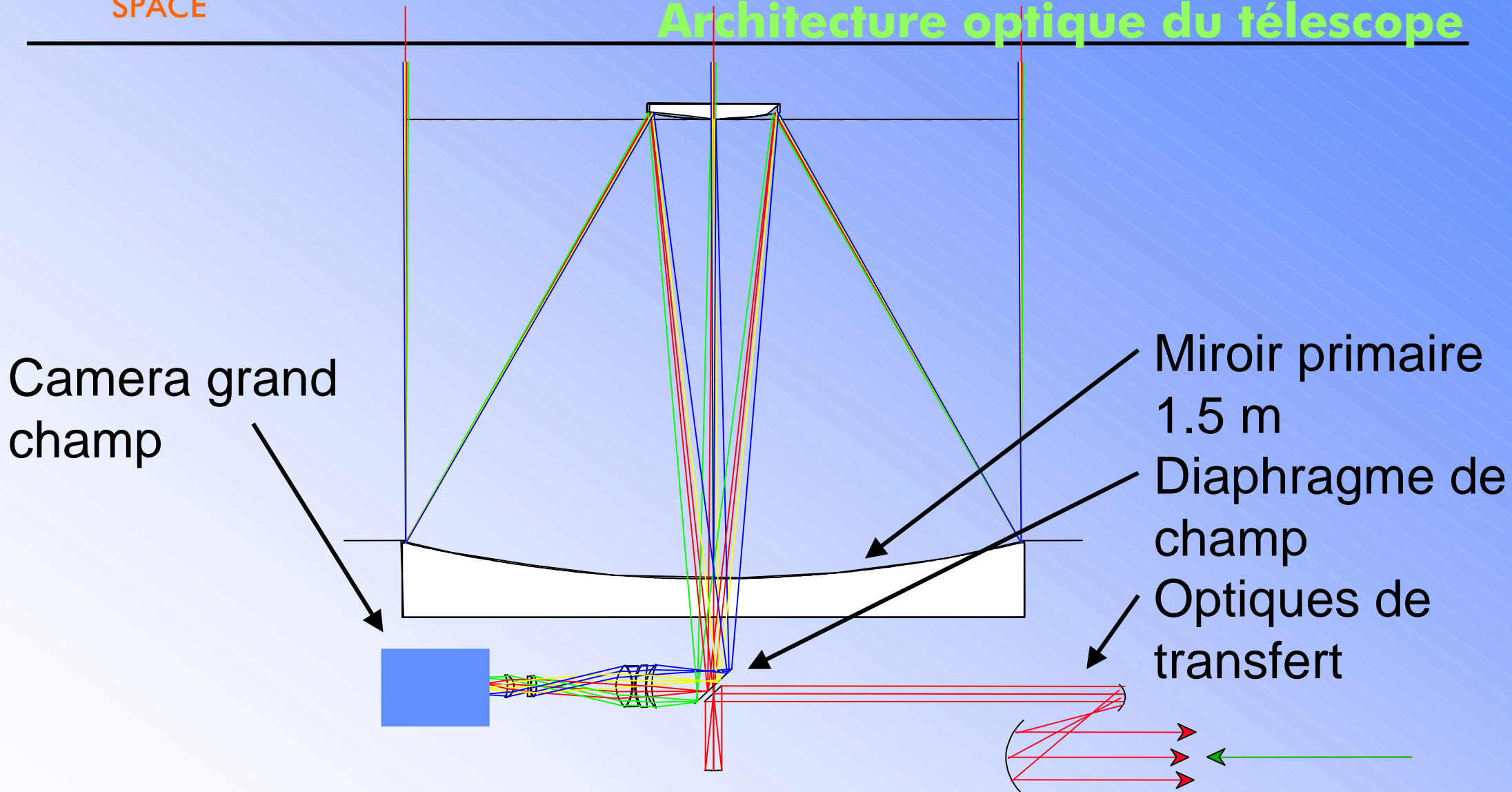
- ❑ Superposition d'un objet et d'une étoile de référence
- ❑ Dynamique : ± 1.5 arcmin

▼ Compression du faisceau :

- ❑ Diamètre de sortie ≈ 200 mm.

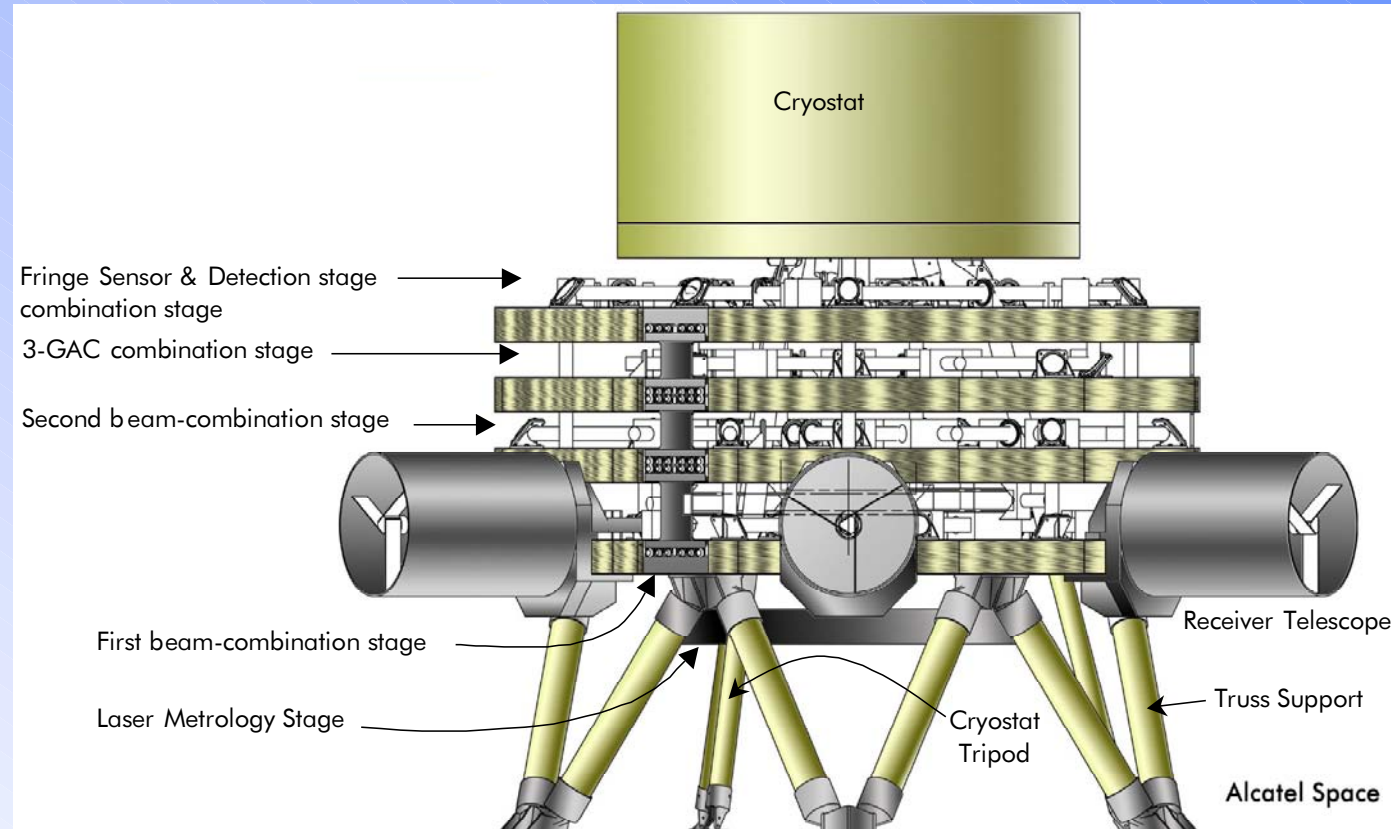


Architecture optique du télescope



▼ Recombineur de faisceaux (40 K):

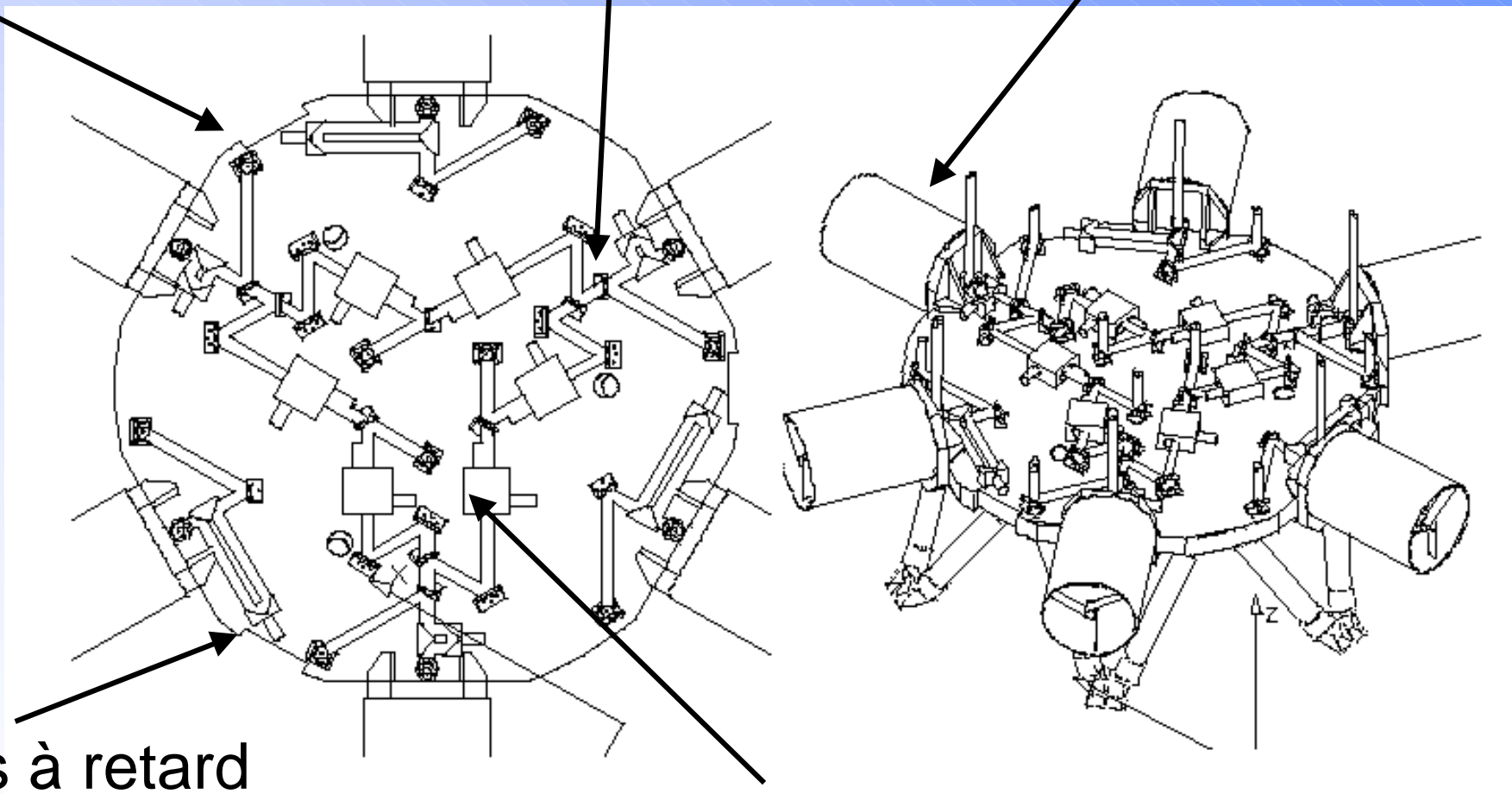
- ❑ Collecteur
- ❑ Ligne à retard (± 1 cm)
- ❑ déphaseur achromatique de π
- ❑ Suiveur de franges (DDM)
- ❑ Correcteur de flux (10^{-3})
- ❑ Filtrage de front d'onde (guide monomode)
- ❑ Spectromètre.



Banc optique

Lames séparatrices

Télescopes collecteurs



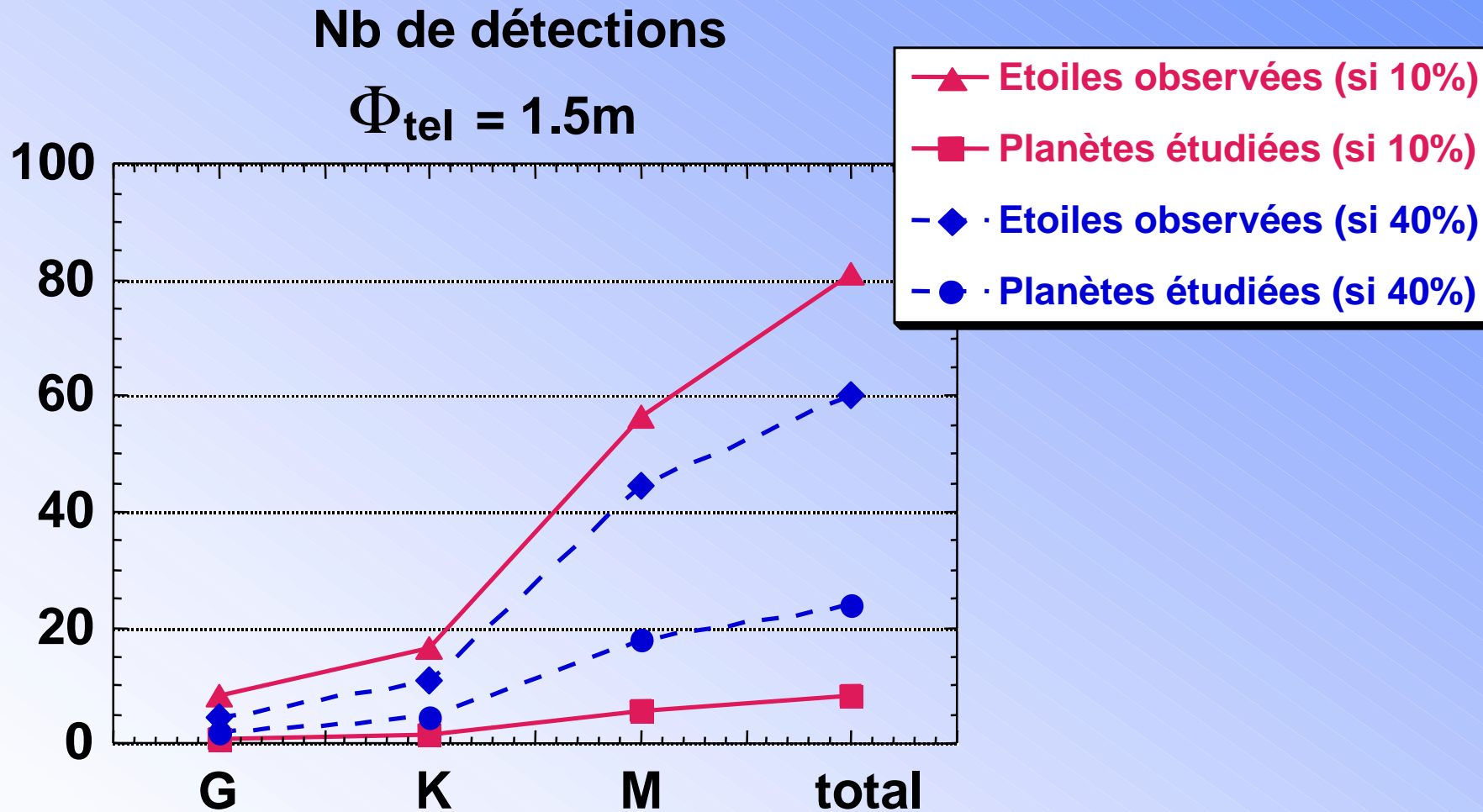
Lignes à retard

Système d'adaptation de l'amplitude

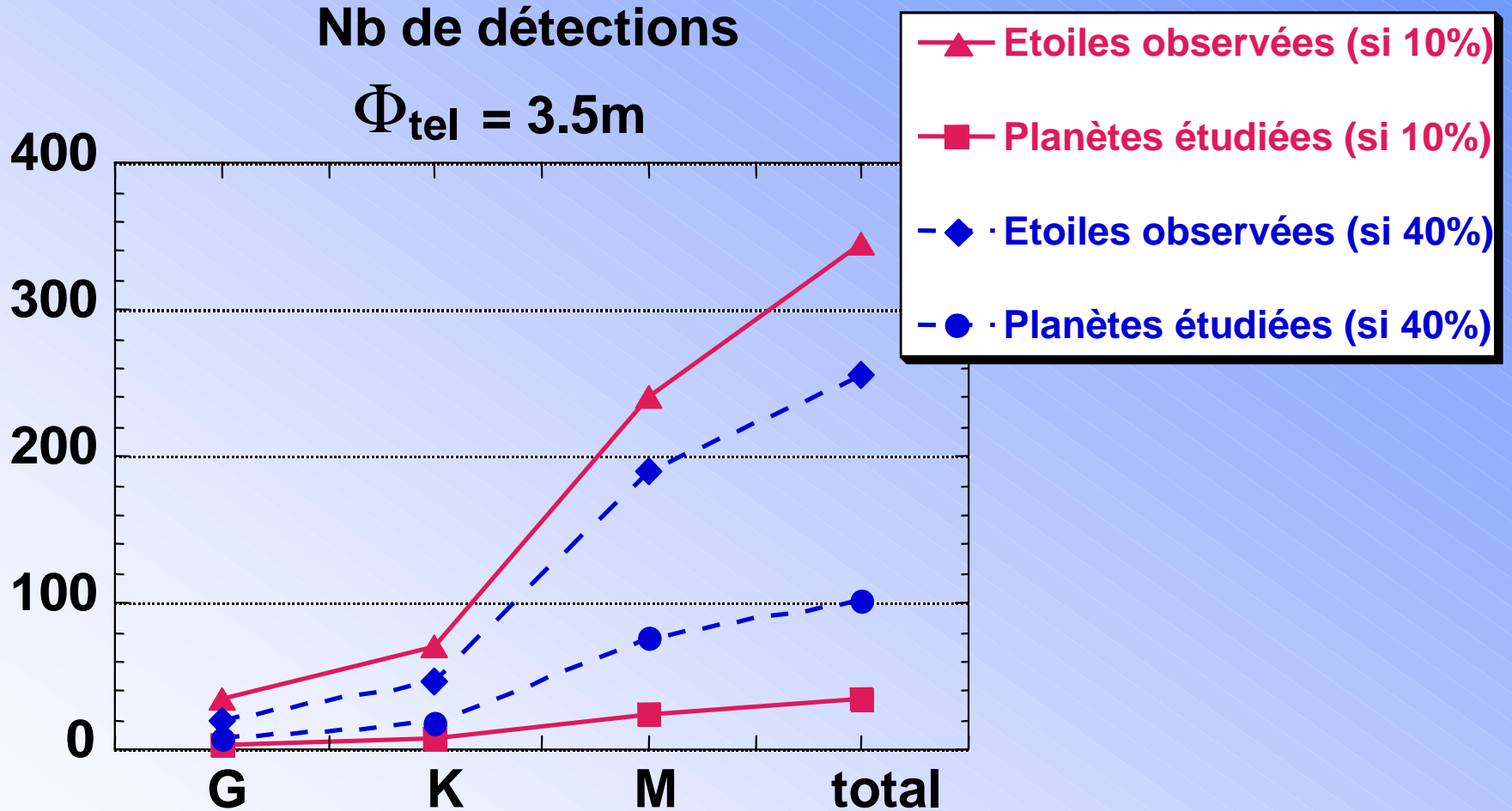
Evaluation du nombre de détections

Deux scénarios:

10% d'étoiles ont des planètes telluriques
40% d'étoiles ont des planètes telluriques



Télescopes de plus grand diamètre: 1.5 m → 3.5 m



- ▼ Technologies à démontrer/ développer au sol
 - Multi Aperture Imaging Interferometer (Alcatel)
 - Optique intégrée, filtrage de front d'onde, fibres monomodes, déphaseur achromatique, métrologie optique de haute précision, composants optiques pour l'interférométrie.

- ▼ Précurseur : SMART-2 (2006)
 - Contrôle d'une constellation interférométrique (vol en formation)
 - Contrôle du déploiement d'une constellation
 - Sous système RF pour le vol en formation
 - Métrologie optique de haute précision
 - Technologie de propulsion de niveau milli- et μ -Newton (FEEP)

- ▼ Acquisition de franges (SMART 3 ?)