



Plan

- ◆ La science au CNES
- ◆ 2009-2014, une moisson de résultats scientifiques
- ◆ Grandes questions scientifiques
- ◆ Questions scientifiques justifiant un fort investissement français
- ◆ Éléments de programmation
- ◆ Athena, SVOM, AstroMeV



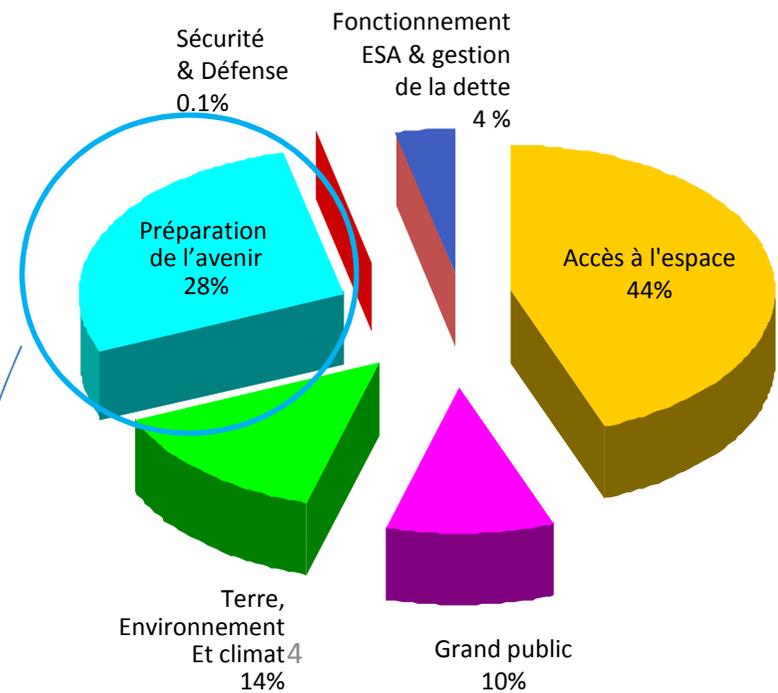
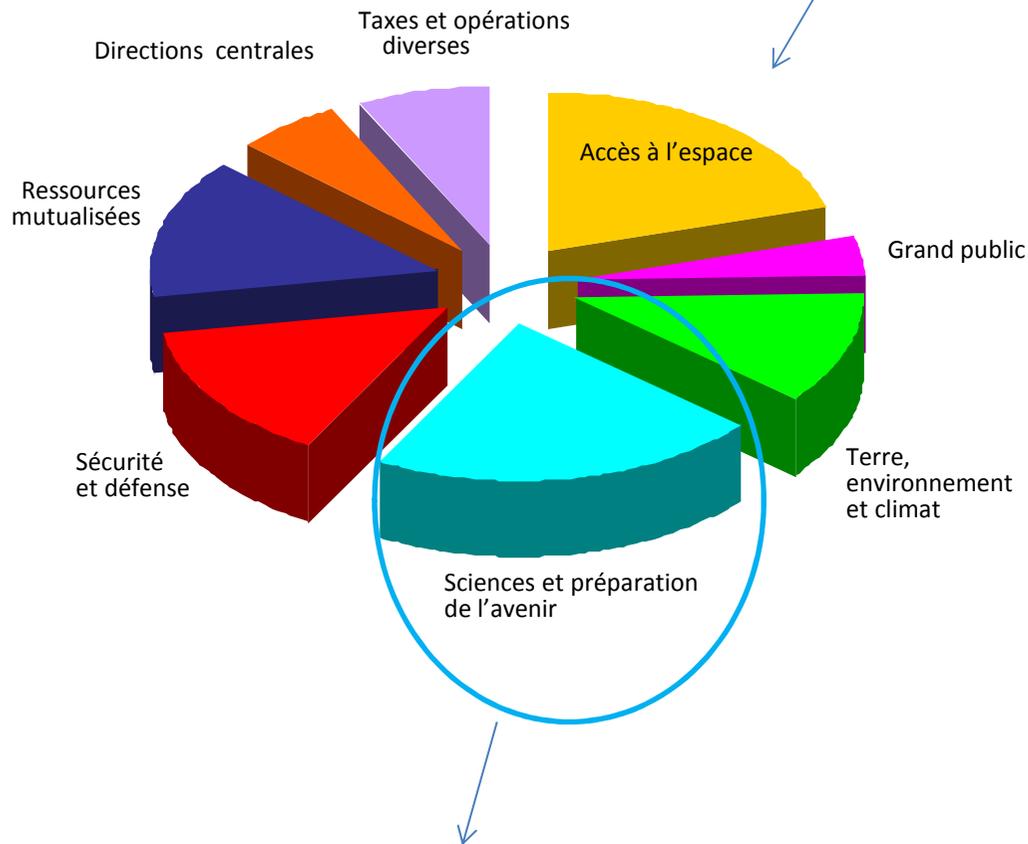
La science au CNES



Un budget CNES partagé en 2 parts +/-voisines

Budget Multilatéral

Contribution française à l'ESA



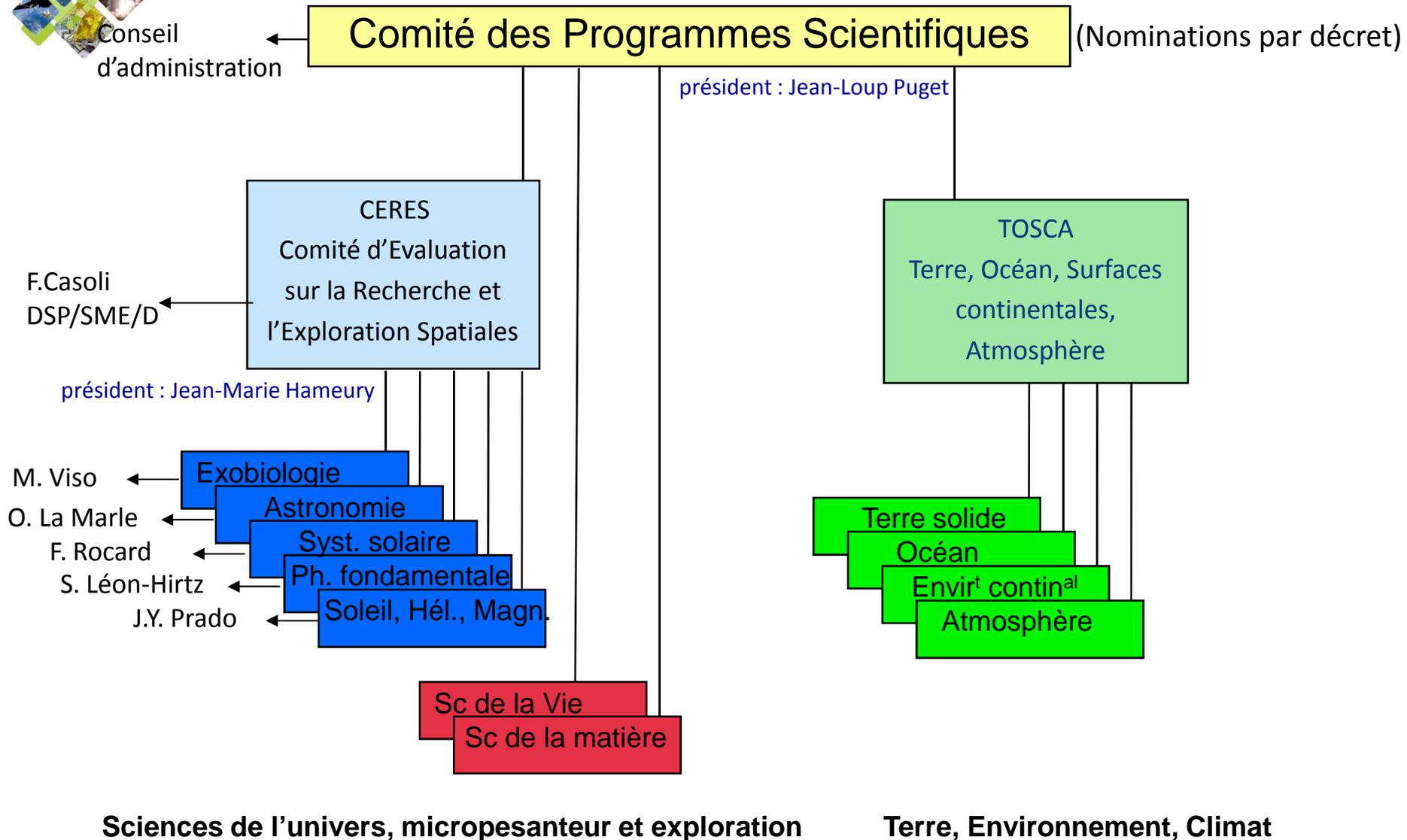
Contribution (15.5%) au Programme Scientifique Obligatoire (Cosmic Vision)

- ⇒ Satellites, opérations
- ⇒ General Studies & Techno Program

Développement des projets : satellites CNES, charges utiles ESA, contribution d'opportunité, instruments ballon...
 Exploitation des missions en vol
 R&T, Etudes amont (phases 0 et A), allocations de recherche,...



Budget multilatéral, partie science : un programme basé sur les propositions scientifiques





Le processus de préparation de la prospective CNES 2014

- ◆ Environ 100 propositions reçues début 2013, plus réponses aux appels d'offres de l'ESA (L2, L3, M3)
- ◆ Les groupes thématiques ont fait évoluer et mûrir les propositions; au total, 35 projets ont fait l'objet d'un examen approfondi concrétisé par des fiches
- ◆ Des priorités ont été faites et des cadres programmatiques possibles définis par le CERES
- ◆ Rapports des groupes de travail disponibles en ligne, ainsi que le bilan du CERES

Pendant le séminaire de La Rochelle (mars 2014) :

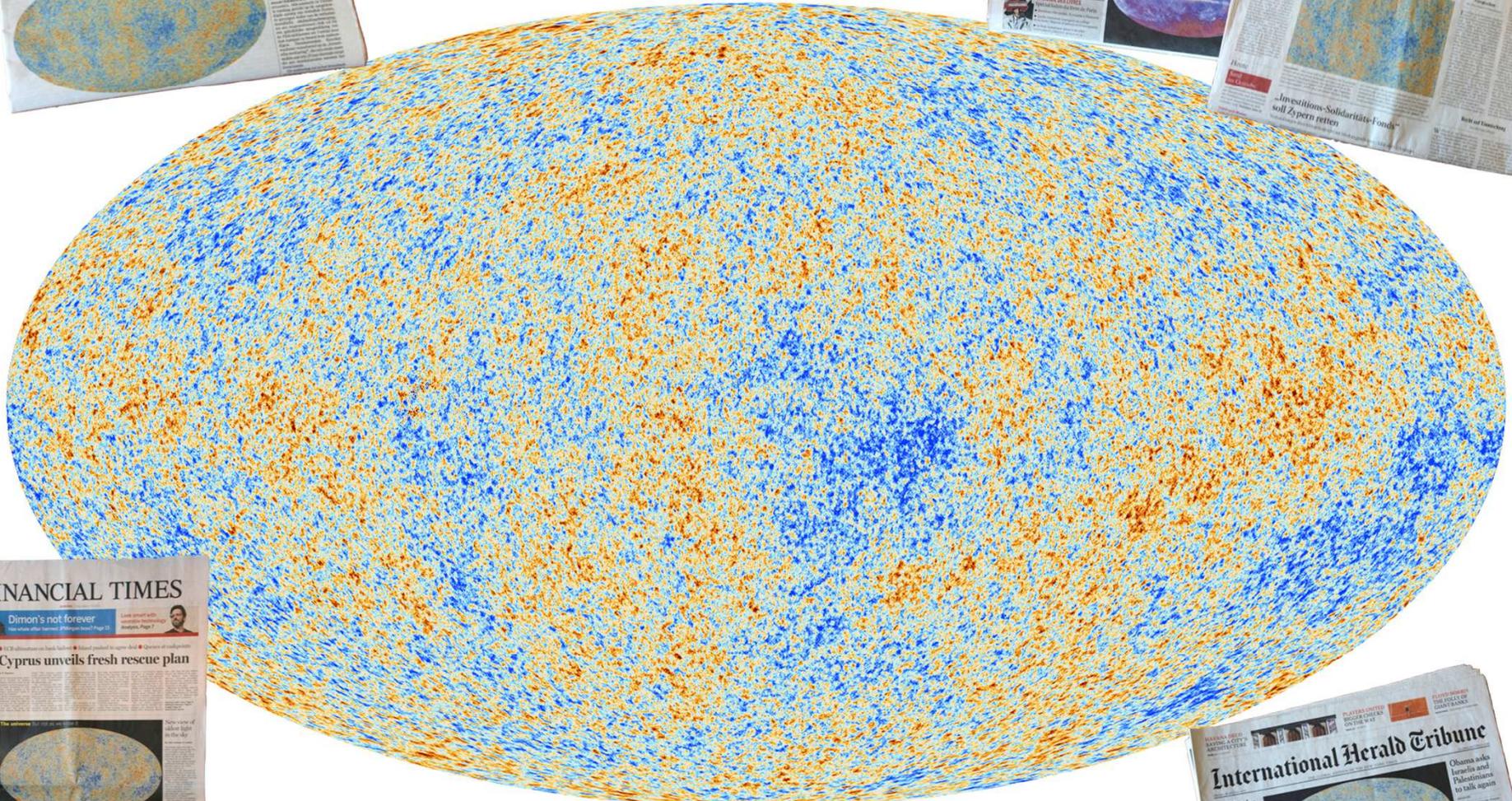
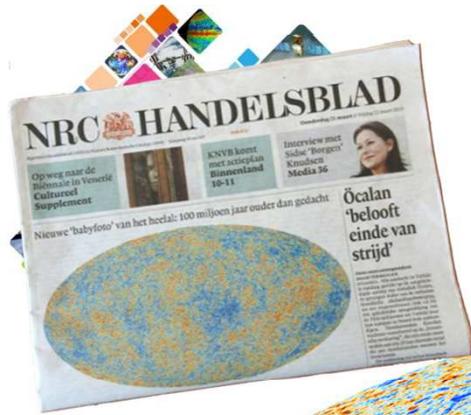
- ◆ Validation et amendements par ateliers non thématiques, puis synthèse nocturne et matinale
- ◆ Des questions transverses ont été abordées, notamment sur
 - ◆ Optimisation du retour scientifique
 - ◆ Contextes possibles de réalisation des projets
- ◆ Post-séminaire, un retour va être envoyé à tous les proposant



2009-2014, une moisson de résultats scientifiques

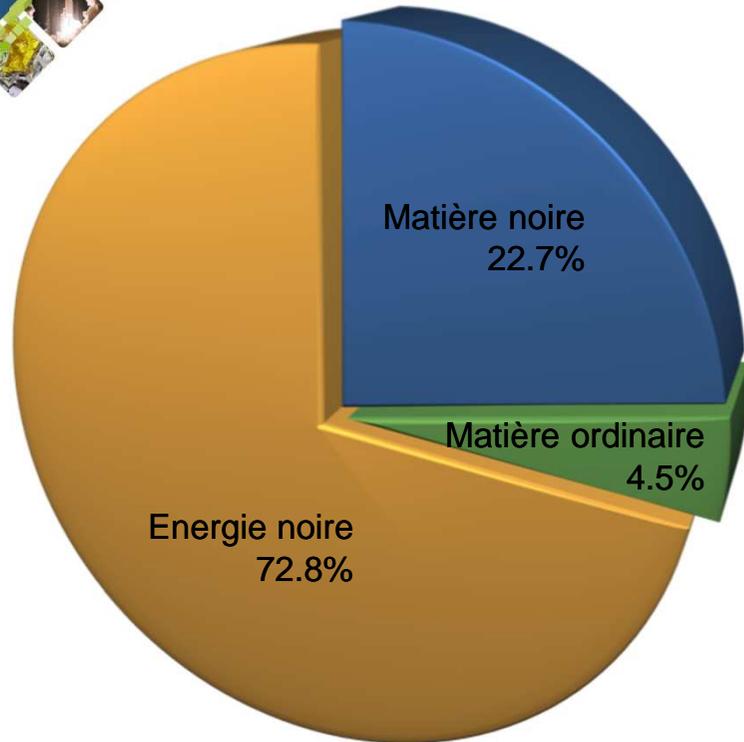
Quelques exemples

Planck : une vision de l'Univers 380000 ans après le Big Bang





UNE NOUVELLE RECETTE COSMIQUE

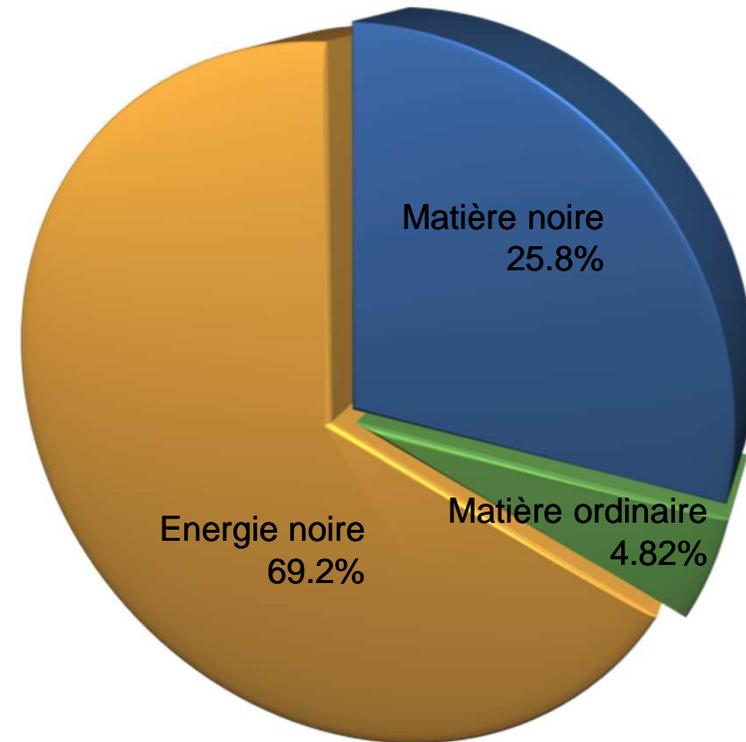


Avant le 21 mars 2013

Age de l'Univers : $13.798 \pm 0.037 \cdot 10^9$ ans

Constante de Hubble: $67.80 \pm 0.77 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$

(Planck + WMAP polarisation + highL + BAO)



Aujourd'hui

Matière baryonique: $\pm 0.05\%$

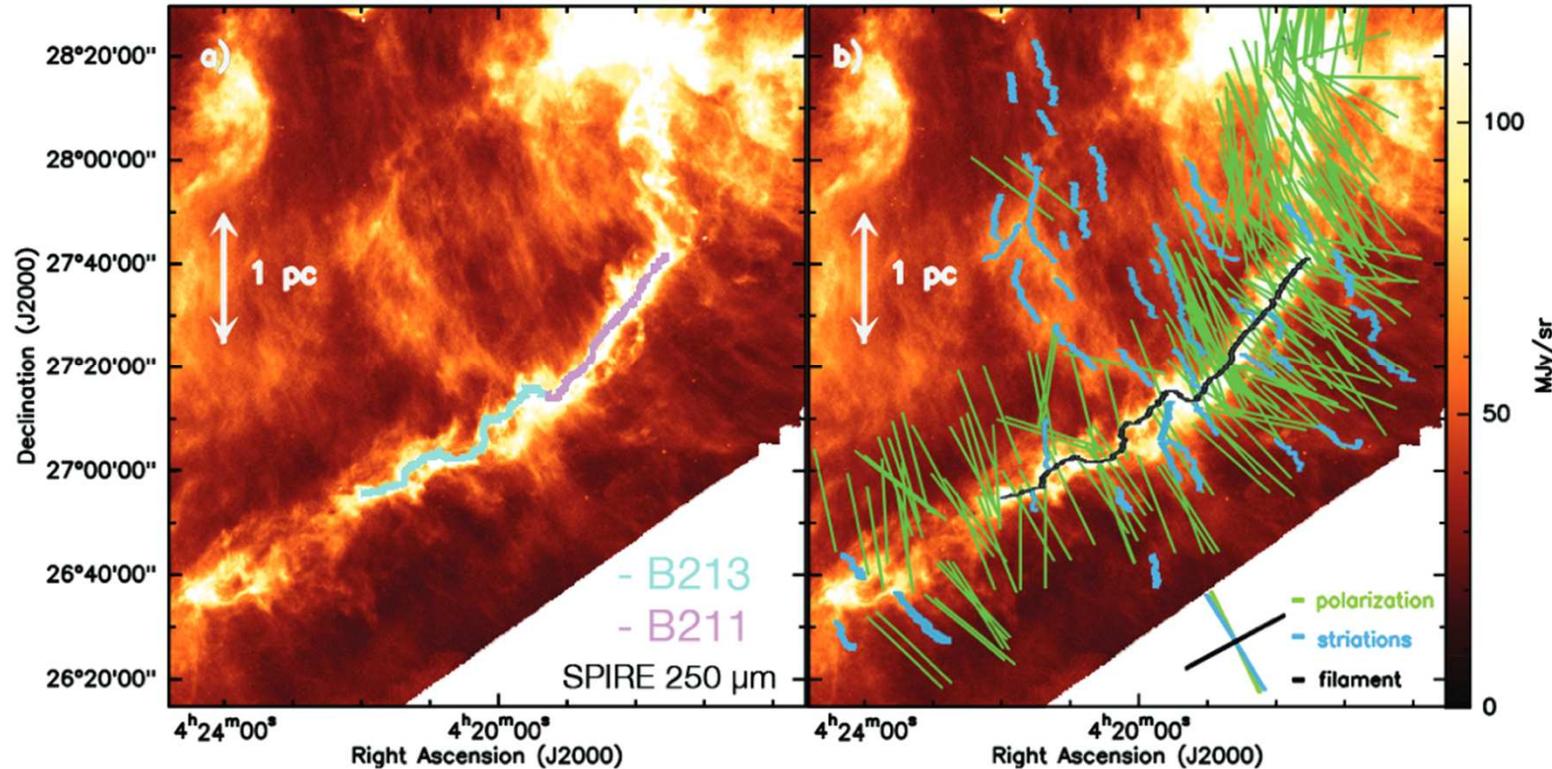
Matière noire: $\pm 0.4 \%$

Energie noire: $\pm 1.0 \%$



Herschel : un nouveau regard sur la formation des étoiles

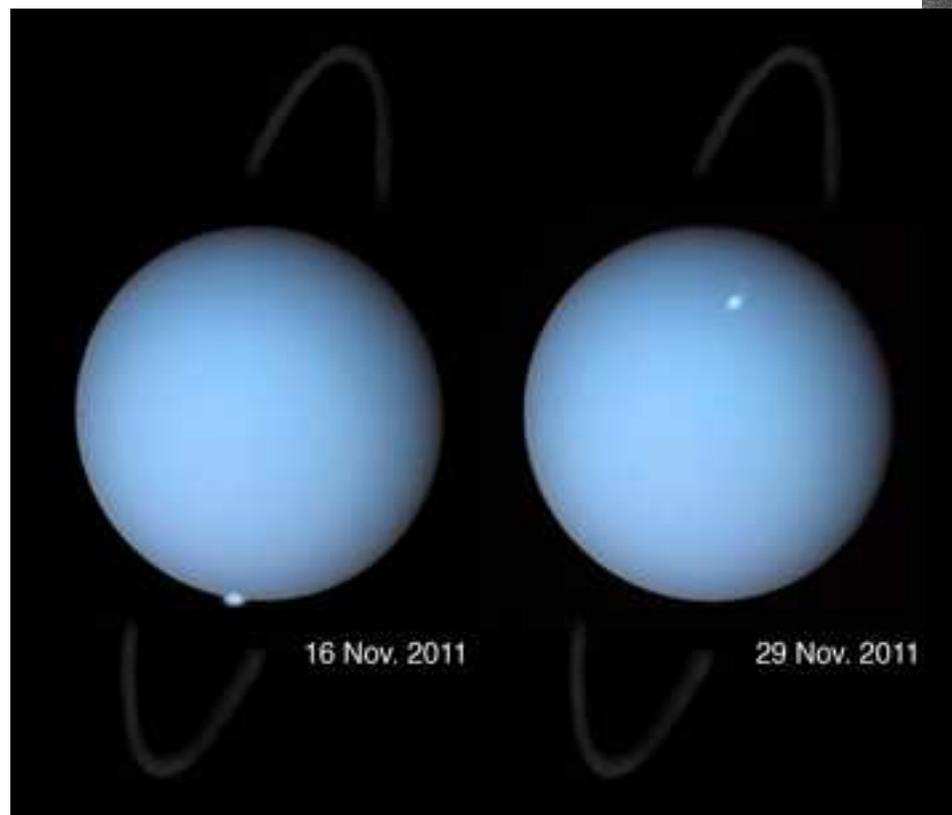
P. Palmeirim et al.: *Herschel* view of the Taurus B211/3 filament and striations: evidence of filamentary growth?



- ◆ Les étoiles se forment dans des filaments, longs tubes étroits du milieu interstellaire et organisés par la turbulence provoquée par des propagations de flots ou de chocs dans le milieu interstellaire.
- ◆ La résolution spatiale inégalée de Herschel est essentielle pour comprendre le phénomène



Aurores polaires d'Uranus : la météo de l'espace à grande échelle



Mars, une planète qui fut habitable

- Eau liquide
- pH neutre
- Milieu hypo-salin
- Milieu réduit
- Détection de carbone





Les grandes questions scientifiques

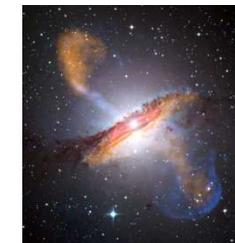
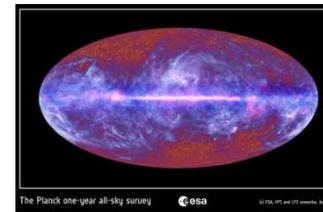
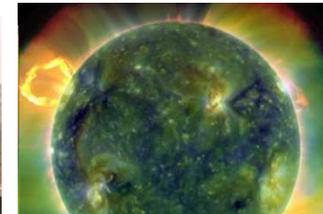


Des priorités scientifiques communes

- ◆ Prospectives européennes et internationales : Astronet ; Aspera; Cosmic Vision ; Decadal Surveys américains

=> Les mêmes questionnements, les mêmes priorités :

- ◆ Formation des planètes et émergence de la vie
- ◆ Fonctionnement global du système solaire
- ◆ Lois de la physique gouvernant l'Univers
- ◆ Origine et évolution de l'Univers



- ◆ Le spatial est au cœur d'une stratégie qui doit aussi inclure les autres composantes, en particulier les observations depuis le sol

- ◆ Multi-longueur d'onde / multi-messenger
- ◆ Grands relevés / observations de suivi
- ◆ Exploration in situ / observations à distance
- ◆ Expérimentation sol et spatiale

- ◆ Des entrées pour la prospective astronomie-astrophysique de l'INSU

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2Mr}{\Sigma} \right) dt^2 + \left(\frac{\Sigma}{\Delta} \right) dr^2 + \Sigma d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{2Mra^2}{\Sigma} \sin^2\theta \right) \sin^2\theta d\phi^2 - \frac{4Mra \sin^2\theta}{\Sigma} d\phi dt,$$



Questions scientifiques justifiant un fort investissement français

3 dans un cadre programmatique ESA (grandes missions)

3 dans un cadre programmatique pas encore défini



L1

les satellites de Jupiter comme modèle de système (exo)planétaire : JUICE

Première mission « Large » de l'ESA
Sélectionnée en 2012
Coût ESA 850 M€

Exploration de Jupiter et de 3 de ses satellites:
Europe, Ganymède et Callisto
Océans sous une épaisse croûte glacée
Habitabilité et origine de la vie

Lancement en 2022

Fourniture française principale:

- instrument spectro-imageur MAJIS (responsabilité PI)
- participation instrumentale à 4 autres instruments (sur 11)



L2

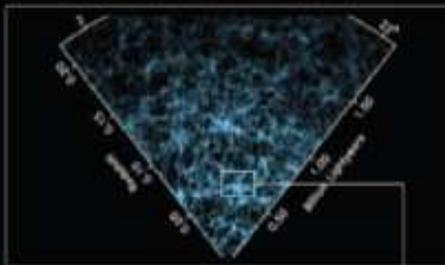
L'Univers chaud et énergétique (Athena), un grand observatoire en rayons X en 2028

Why does the observable universe look the way it does?

Dark Matter structure of the Universe

Springel et al. 2005

THE COLD UNIVERSE

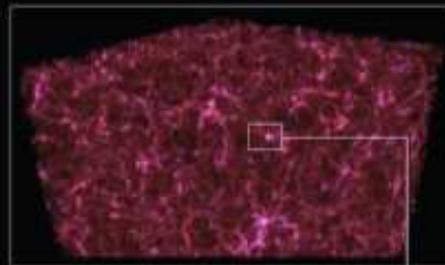


LARGE SCALE GALAXY DISTRIBUTION



STARS AND GALAXIES

THE HOT UNIVERSE



INTERGALACTIC MEDIUM



GALAXY CLUSTERS & GROUPS

THE ENERGETIC UNIVERSE



COSMIC FEEDBACK



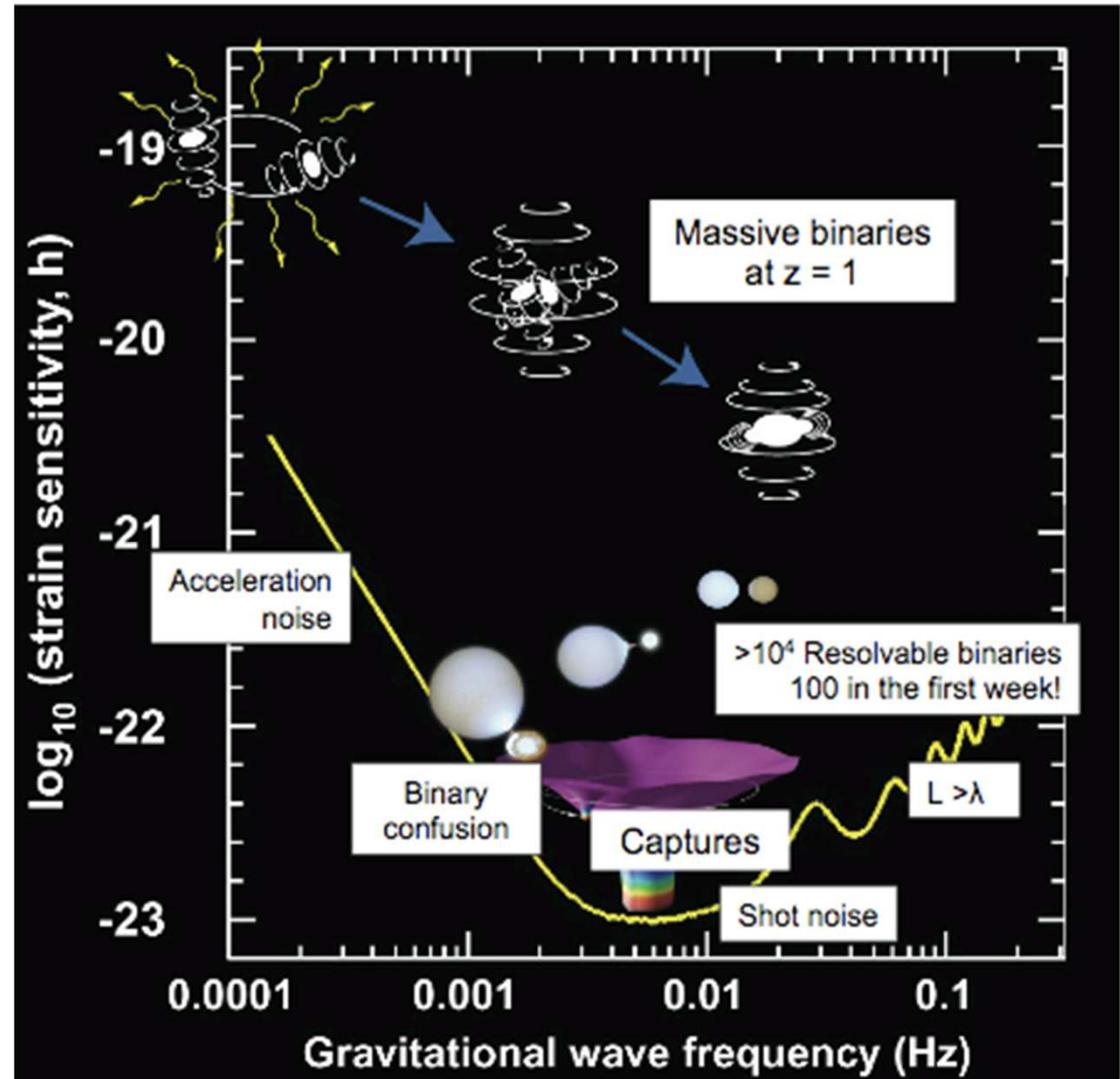
BLACK HOLES



L3

L'Univers gravitationnel : (eLISA), un observatoire d'ondes gravitationnelles en 2034

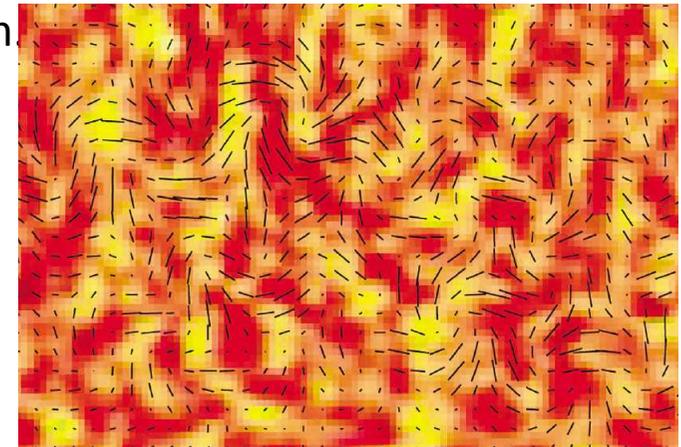
- Ouvrir une nouvelle fenêtre d'observation astrophysique
- Au sol : kHz; dans l'espace : mHz
- Détecter les ondes gravitationnelles émises par des objets binaires massifs.
 - Binaires stellaires
 - Coalescence de trous noirs supermassifs (galaxies)
- Détecter le fond stochastique d'ondes gravitationnelles
- Tester la relativité générale en champ fort





L'Univers à $t \sim 10^{-32}s$

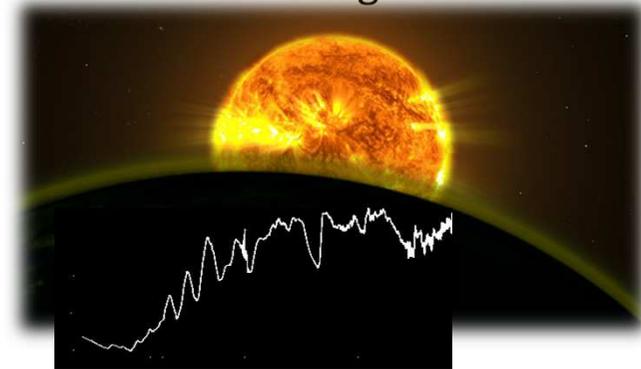
- ◆ L'inflation est la période du Big Bang pendant laquelle la taille de l'Univers a crû exponentiellement d'au moins un facteur 10^{30}
- ◆ L'origine physique est inconnue : un très grand nombre de modèles ont été proposés, qui font tous appel à une nouvelle physique
- ◆ L'inflation génère des ondes gravitationnelles qui laissent une signature caractéristique dans la polarisation du rayonnement du fond cosmologique
- ◆ BICEP-2 a-t-il détecté ces modes de polarisation ?
Ces résultats rendent plus que jamais nécessaire une expérience spatiale dédiée qui mesurera l'énergie à laquelle la phase d'inflation a eu lieu, et définira le cadre théorique plus vaste dans lequel s'inscrit le modèle d'inflation (grande unification ou autre)
- ◆ La France a la légitimité (Planck, R&T) pour porter cette mission





Exoplanètes : du recensement à l'étude détaillée

- ◆ Comment se sont formées les exoplanètes ? Quelle est leur structure, leur composition ? Ont-elles une atmosphère, et quelle est sa composition ? Sont elles habitables ?
- ◆ Plato (M3) a deux objectifs, sur lesquels il importe que la France soit présente :
 - ◆ Détecter des exoplanètes telluriques dans la zone habitable d'étoiles de type solaire, et donner leurs caractéristiques principales (masse, rayon, densité)
 - ◆ Etudier la structure interne des étoiles par sismologie
- ◆ L'étude des atmosphères des exoplanètes est l'étape suivante et permettra à terme d'aborder les questions d'habitabilité et de recherche de biosignatures.
- ◆ Les grands télescopes au sol (E-ELT) et dans l'espace (JWST) apporteront une contribution essentielle, mais insuffisante; une mission dédiée sera indispensable.
- ◆ La France a la légitimité (Corot, compétence sur spectro IR...) pour porter ce projet





Retour d'échantillons

- ◆ Contexte programmatique
 - ◆ Priorité en France, en Europe, aux Etats-Unis, amorcée par les missions Exomars et Mars 2020
 - ◆ Un bon positionnement européen nécessite des développements technologiques sur des quelques éléments clé
- ◆ Logique scientifique
 - ◆ Maximiser le retour scientifique (détection robuste, e.g. biosignatures)
 - ◆ Bénéficier des performances analytiques des instrument de laboratoire
 - ◆ Adapter les protocoles analytiques à la nature de l'échantillon
 - ◆ Bénéficier de l'expertise d'une communauté élargie
- ◆ Cibles prioritaires
 1. Mars pour l'exobiologie
 2. Lune ou petits corps pour la formation du système solaire





Éléments de programmation

La programmation actuelle

Programme obligatoire de l'ESA

Planck
Herschel

XMM
Integral
HST
Soho
Cluster
Cassini
Mars Express
Venus Express
Rosetta
GAIA

Lisa PF (2015)
BepiColombo (2016)
Solar Orbiter (2017)
JWST (2018)
Euclid (2020)
Juice (2022)
Plato (2024)
L2/Athena (2028)
L3/eLISA (2034)

Missions nationales/bilatérales

T2L2
Picard
Corot
Euso-ballon (2014)
PILOT (ballon, 2015)
Fireball (ballon, 2015 ou 2016)
Pharao/ACES (2016)
Microscope (2016)
Taranis (2017)
SVOM (2020)

Opportunités stratégiques

MSL/Curiosity
Insight/SEIS (2016)

Programme exploration de l'ESA

ExoMars Expose

Contributions d'opportunité

Plusieurs projets

R&T

Construction

Exploitation

Post-exploitation



Stratégie programmatique (1)

- ◆ **Programme scientifique obligatoire de l'ESA** colonne vertébrale du programme national dans le domaine des sciences de l'Univers, complété par le programme d'**exploration robotique de l'ESA**
- ◆ **Opportunités stratégiques**, « grosses » contributions à des missions d'autres agences, et en particulier de la NASA
- ◆ **Petites contributions d'opportunité**, certaines pouvant être uniquement scientifiques, (excellent retour pour un investissement limité)
- ◆ Des projets à long terme identifiés qui nécessitent des **phases 0** et des développements **R&T**, voire des **démonstrateurs**.
- ◆ La R&T joue un rôle stratégique pour l'ensemble du programme



Stratégie programmatique (2)

- ◆ Pas de nouveau projet prioritaire actuellement identifié dans le cadre
 - ◆ de missions nationales (mini et microsattelites)
 - ◆ de ballons, qui doivent être en compétition avec les autres projets



Cosmic Vision : mission M4

- ◆ Plusieurs projets correspondent aux priorités de la communauté scientifique exprimées par les groupes thématiques, et justifient une participation ambitieuse et un soutien du CNES à la préparation des propositions. Les priorités affichées par les groupes sont:
 - ◆ **Mission post-Planck** pour la caractérisation des modes B de polarisation du CMB, qui permettra d'accéder à la première fraction de seconde du Big Bang et à l'ère inflationnaire
 - ◆ Mission de **caractérisation spectroscopique des atmosphères** des exoplanètes
 - ◆ Mission **infrarouge lointain** pour étudier la formation des galaxies et des étoiles
 - ◆ **Test du principe d'équivalence** sur des objets quantiques. L'aide du CNES à la reconfiguration du consortium est indispensable, ainsi que des actions de R&D
 - ◆ Mission sur la microphysique des plasmas
- ◆ Le CNES organisera une évaluation des propositions dès la parution de l'AO pour organiser un soutien qui sera différencié



Opportunités

- ◆ « Grosses » opportunités et développements stratégiques
 - ◆ Thématiques correspondant aux missions M ci-dessus, et en particulier modes B de polarisation du CMB et de caractérisation des exoplanètes
 - ◆ Préparation ou réalisation de missions de retour d'échantillons (Mars, première priorité sur le long terme; Lune, Phobos et astéroïdes)
 - ◆ Orbitrap, spectromètre de masse à très haute résolution. Nécessite validation par démonstrateur
 - ◆ GAP, accéléromètre à emporter sur une sonde vers les planètes externes. Nécessite une structuration scientifique du projet et une analyse de la possibilité d'emport en passager
- ◆ Participation éventuelle à S2 (ESA/CAS) au niveau d'une petite opportunité, et sera à traiter de la même façon que les
- ◆ Autres petites opportunités qu'il est impossible de figer aujourd'hui



Préparation de l'avenir : priorités

- ◆ Phases 0 identifiées aujourd'hui
 1. eLISA
 2. Faisabilité de l'emport de GAP
 3. Faisabilité emport ballon horloges optiques
 4. Spectropolarimètre ultraviolet pour comprendre la formation et l'évolution des étoiles
 4. FASOLASI , spectro-imageur solaire pour l'étude de la raie Ly α de l'hydrogène.
- ◆ R&T stratégiques
 - ◆ Conception d'instruments d'analyse in situ, en particulier sur les questions de spectroscopie de masse (Orbitrap) et de datation
 - ◆ Chaînes de détection et cryogénie associée dans le domaine des rayons X et submillimétrique une fois qu'une feuille de route aura été élaborée
 - ◆ Interférométrie atomique pour l'espace et liens optiques
- ◆ Démonstrateur
 - ◆ Orbitrap (Analyse d'échantillons in situ)



Message pour la prospective INSU

- ◆ Le suivi sol fait partie intégrante de certains projets spatiaux, en particulier
 - ◆ GAIA
 - ◆ Euclid
 - ◆ SVOM
 - ◆ Plato
- ◆ Le CNES devra encourager l'ESA à se saisir de la question et mener les actions nécessaires auprès des organisations qui gèrent des télescopes au sol (ESO, CFHT, etc.)
- ◆ L'INSU devra être proactive sur ces questions



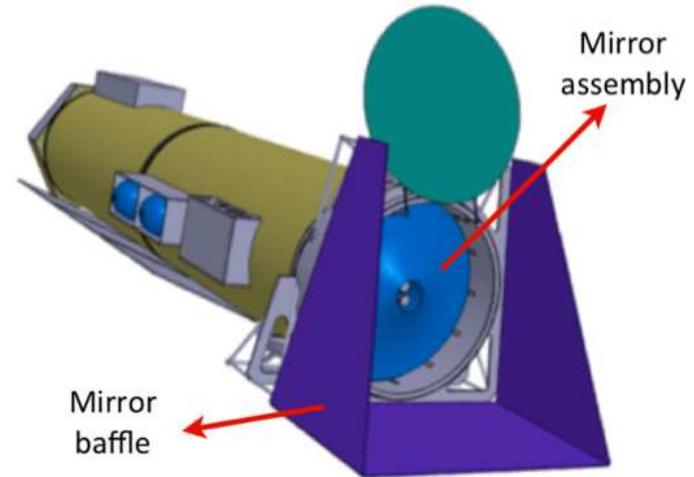
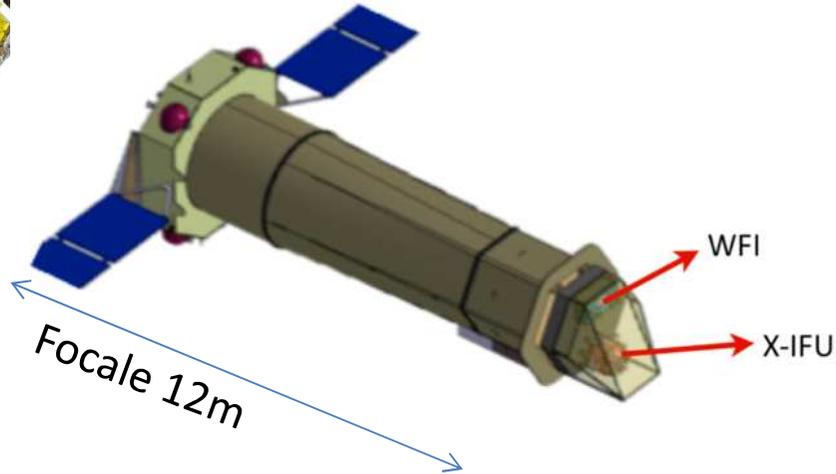
Athena, SVOM, AstroMeV



L2/Athena : où en est-on?

- ◆ Sélection du thème « The hot an energetic universe » en novembre 2013
- ◆ Appel à « Mission concept » en cours
 - =>16 avril
 - => ~40 pages, description de la mission et des instruments proposés
- ◆ Juin (ou Novembre?) : Sélection du concept de mission
- ◆ Début 2015 : Appel à propositions pour la fourniture des instruments et du segment sol scientifique
- ◆ 2015-2018 : Phase 0/A/B1 + R&T
- ◆ 2018 : Adoption de la mission
 - => Vote du coût à achèvement, signature des accords inter-agences
- ◆ 2028 : Lancement

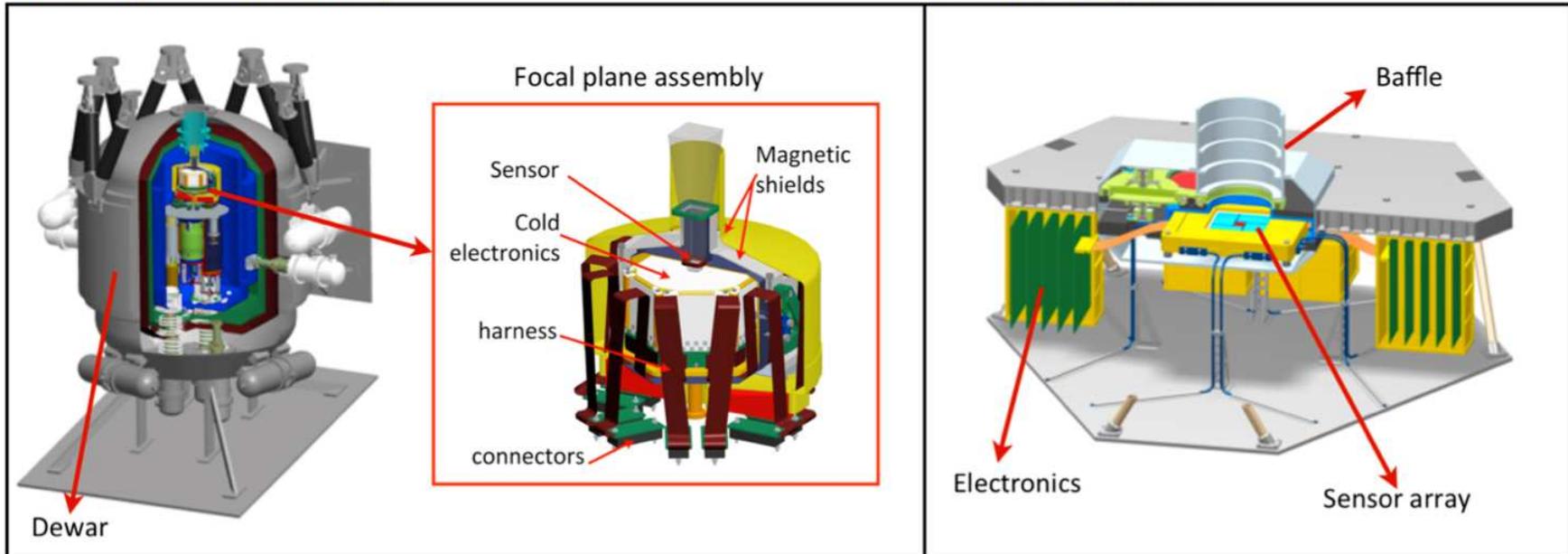
L2/Athena : où en est-on?



X-ray Integral Field Unit (X-IFU)

Wide-Field Image (WFI)

~ 1 m





L2/Athena : contribution française

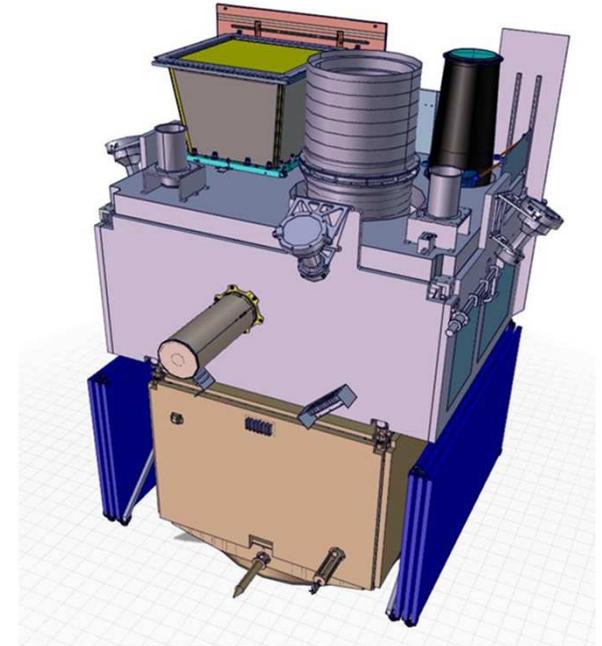
- ◆ Forte implication de la communauté française dès les 1ères études (XEUS, IXO, Athena) et dans la préparation de la proposition de thème 2013 et de concept de mission 2014
- ◆ Intérêt très clair de la communauté française at large pour le thème scientifique: Journées PNHE 2013, Journée Athena-France février 2014 (>100 p)
- ◆ Forte priorité du groupe astro et du CERES à La Rochelle
- ◆ Plusieurs contributions instrumentales et au segment sol scientifique proposées (IRAP, CEA/Sap, CEA/SBT, Obs Strasbourg, APC, IAS, LAM)
- ◆ Dont une proposition de Plship (spectromètre X-IFU)
- ◆ Stratégie en cours de définition au CNES (+groupe astro et autres experts) :
Objectifs :
 - ◆ Définir le meilleur positionnement en terme de retour scientifique pour la communauté française
 - ◆ Se mettre en ordre de bataille pour assurer ce positionnement dans la préparation de la réponse à l'AO instrumental de 2015



SVOM

(Etude des sursauts gamma)

France-Chine



- ◆ Février 2013 : Annonce par l'agence chinoise (CNSA) qu'elle renonce à acheter une plateforme Proteus (TAS) comme prévu dans l'accord initial, au profit d'une plateforme chinoise; le lancement passe aussi côté CNSA
- ◆ Mars –Décembre 2013 : Delta – étude (phase A) pour évaluer l'impact de ce changement + prendre en compte l'impact de la nouvelle réglementation export des composants critiques US (ITAR), qui concerne l'instrument français ECLAIRS
- ◆ Conclusion : la mission conserve ses performances scientifiques; le planning doit être revu.
- ◆ 26 mars 2014 : signature d'un communiqué conjoint CNES/CNSA à l'occasion de la visite en France du Président chinois

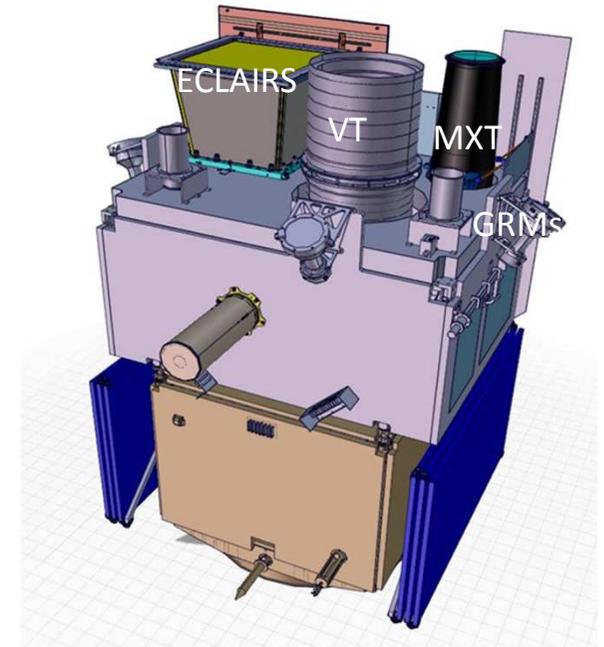
1. Les Parties conviennent d'accélérer le développement de SVOM, de définir une nouvelle répartition des responsabilités permettant un lancement au plus tard en 2020 et d'évaluer activement les possibilités techniques d'un lancement de SVOM en 2019.

- ◆ => Nouveau partage en cours de discussion (Objectif : juin 2014)



SVOM

(Etude des sursauts gamma)
France-Chine



- ◆ Février 2013 : Annonce par l'agence chinoise (CNSA) qu'elle renonce à acheter une plateforme Proteus (TAS) comme prévu dans l'accord initial, au profit d'une plateforme chinoise; le lancement passe aussi côté CNSA
- ◆ Mars –Décembre 2013 : Delta – étude (phase A) pour évaluer l'impact de ce changement + prendre en compte l'impact de la nouvelle réglementation export des composants critiques US (ITAR), qui concerne l'instrument français ECLAIRS (Caméra grand champs Gammas mous)
- ◆ Conclusion : la mission conserve ses performances scientifiques; le planning doit être revu.
- ◆ 26 mars 2014 : signature d'un communiqué conjoint CNES/CNSA à l'occasion de la visite en France du Président chinois

1. Les Parties conviennent d'accélérer le développement de SVOM, de définir une nouvelle répartition des responsabilités permettant un lancement au plus tard en 2020 et d'évaluer activement les possibilités techniques d'un lancement de SVOM en 2019.

- ◆ => Nouveau partage en cours de discussion (Objectif : juin 2014), la prise en charge du MXT (Télescope X mous) est notamment proposée à la CNSA



AstroMeV

- ◆ Une proposition soumise au CNES (et à l'ESA en M3)
- ◆ Etude du ciel dans le domaine du MeV : Analyse du fond diffus, sources compactes...
- ◆ Soutenue par le groupe astro mais jugée insuffisamment mature pour M4
 - ◆ => Recommandation sur la R&T en vue de M5