

La sélection des missions spatiales scientifiques dans le contexte français et européen

**Yves Langevin
Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay**

Le CNES : une spécificité française en Europe

- **Seule agence spatiale de plein exercice** d'un pays membre de l'Agence Spatiale Européenne (« ESA »)
- Créé en **1961** (ESA : **1975**)
- ESA : 5,8 G€ (2019) ; CNES : 2,4 G€ (2018) dont 850 M€ → ESA
- Centres techniques : Toulouse (CST), Evry → Paris (lanceurs)
- Gestion du Centre Spatial Guyanais à Kourou, **site de lancement** pour les missions européennes

Le CNES et la recherche spatiale en France

- **trois niveaux d'intervention :**

- **Le programme national**

En sciences de l'Univers : Corot 2005, Microscope 2016, Taranis 2018 (avec l'obs. de la Terre)
(1998 – 2003 : le retour d'échantillons de Mars, un rêve grandiose de CJA)

Allemagne : rien depuis 1990 (ROSAT, observatoire X)

- **Les expériences embarquées sur les missions de l'ESA**

70% du budget scientifique du CNES en sciences de l'Univers

co-responsabilité avec l'Allemagne de l'atterrisseur Philae (Rosetta)

limitations de budget: lente décroissance, de ~ 25% en 1990 à 18% en 2018 (PNB: 15%)

- **Les expériences embarquées sur les programmes bilatéraux**

→ 1996: URSS/Russie (VEGA, Phobos, SIGMA, Mars 96)

NASA (MSL 2011, Insight 2018, Mars2020), Japon (Hayabusa 2, MMX), Chine (SVOM)

- **la réalisation d'expériences scientifiques spatiales** : financement à 50% / 50% dans les laboratoires spatiaux (**IAS, LESIA, LATMOS, IRAP, LAM**)

- **CNES (« coûts externes » : contrats industriels)** Planck HFI (Air Liquide): 20 M€

- **personnels permanents** des opérateurs de recherche (CNRS/Université)

Les séminaires de prospective scientifique du CNES

- **tous les 4 à 5 ans**

Aix en provence (1978), Les Arcs (1981), Deauville (1985), Cap d'Agde (1989), Saint-Malo (1993), Arcachon (1998), Paris (2004), Biarritz (2009), La Rochelle (2014)

prochain séminaire : **Le Havre (1019)**

- **La procédure**

- appel à proposition (1 an avant) → liste de priorités et de projets à débattre

- discussion en groupes thématiques ; pour les sciences de l'Univers:

 - Physique fondamentale

 - Astrophysique

 - Système solaire

 - Exobiologie

 - « **SHM** » (Soleil, Héliosphère, Magnétosphère)

- **le CNES est mandaté pour explorer et promouvoir les options programmatiques**

 - suivi par les groupes thématiques : « **CERES** » (science de l'Univers),

 - Comité des Programmes Scientifiques (CPS)**

La prospective CNES : un bilan très positif

- la structuration des priorités lors des séminaires de prospective a permis à la communauté française d'être à l'origine de projets majeurs
 - **CLUSTER** et **Soho** (Aix 1979, Les Arcs 1981) → programme scientifique de l'ESA
 - **Cassini** (Les Arcs 1981, Deauville 1985) → programme scientifique de l'ESA
 - **Planck** (Cap d'Agde 1989, St-Malo 1993) → programme scientifique de l'ESA
 - **CoRot** (St-Malo 1993, Arcachon 1993) → programme national
 - **téledétection de Mars** (Deauville 1985, 1989) → bilatéral Russie, puis ESA
 - **études in-situ de Mars** (véhicules, stations → retour d'échantillons):
 - St-Malo 1993, Arcachon 1998, priorité confirmée par la suite
 - programme d'**exploration ESA** (ExoMars), bilatéral **NASA** (MSL, Mars2020, Insight)
 - **astérosismologie** (Biarritz 2009) → programme scientifique de l'ESA
 - **Euclid** (Biarritz 2009, La Rochelle 2014) → programme scientifique de l'ESA
 - **EJSM/JUICE** (Biarritz 2009, La Rochelle 2014) → programme scientifique de l'ESA
 - **spectroscopie des exoplanètes** (2009, 2014) → programme scientifique de l'ESA

Le programme européen (programme scientifique, « exploration » pour la planéto) est le principal vecteur de mise en œuvre les priorités

La programmation scientifique à l'Agence Spatiale Européenne

- **L'agence spatiale Européenne succède en 1975 à l'ELDO et l'ESRO**

11 pays membres en 1975, 22 aujourd'hui, dont certains (Suisse, Norvège) ne sont pas membres de l'Union Européenne (bientôt rejoints par le Royaume Uni ?)

l'ELDO (lanceurs) avait été un **fiasco total** (7 échecs sur 7 lancements !)

le bilan de l'ESRO était **très modeste**

- **1975 - 1983 : la mise en route d'un programme scientifique spatial européen**

- mise en place des comités consultatifs à 2 niveaux :

« **Solar System Working Group** »

« **Astronomy Working Group** »

(« **Fundamental Physics Working Group** » : regroupé avec l'AWG en 2001)

→ **Space Science Advisory Committee (SSAC)**

→ **Science Policy Council (SPC)**, suit le SSAC sauf pb budgétaire majeur
engagement préliminaire des pays membres sur la charge utile scientifique

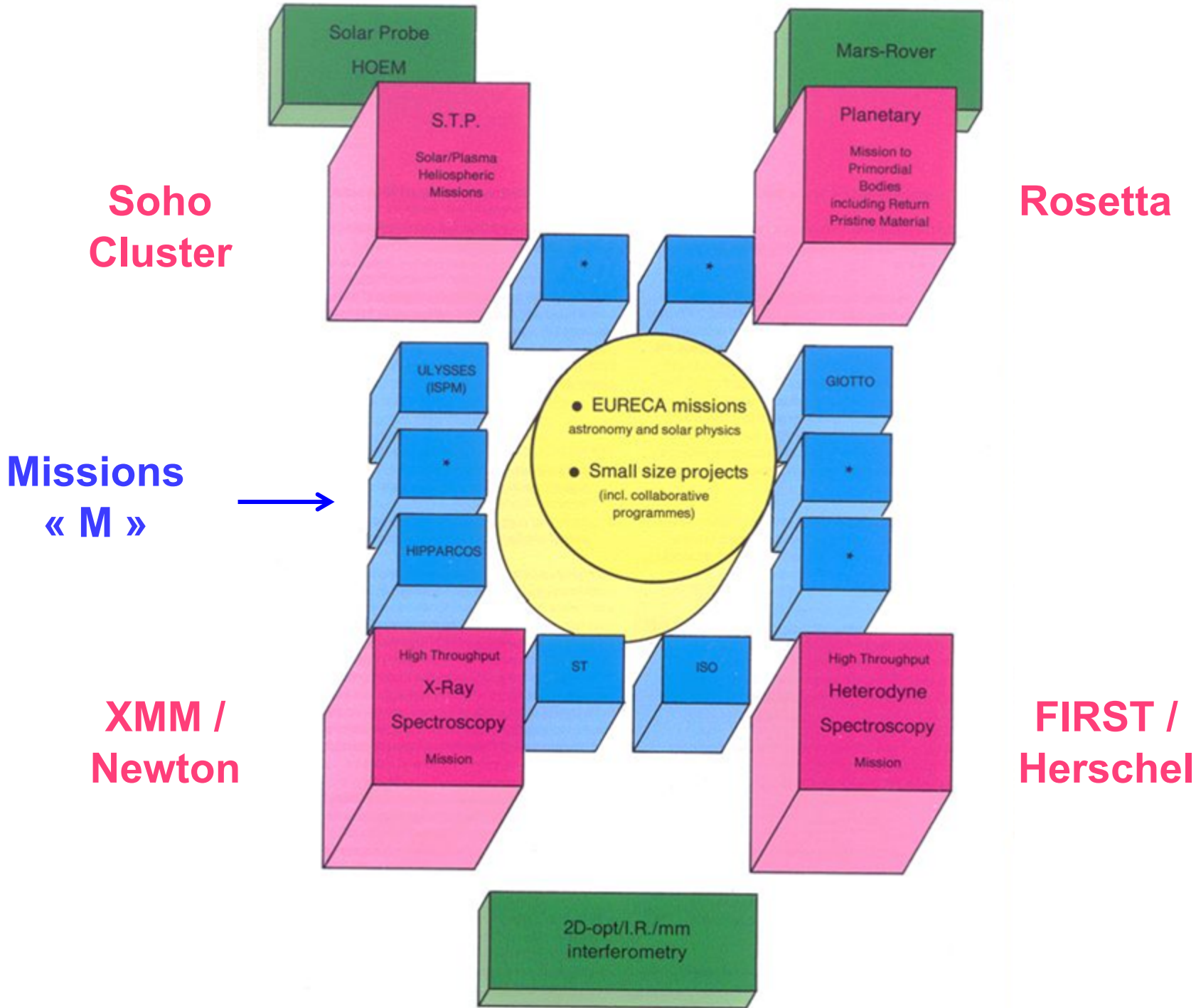
- sélection au coup par coup de projets ciblés vers 300 M€ (en équivalent 2019):

IUE (UV), **Giotto** (planétologie), **Ulysses** (héliosphère), **Hipparcos** (astrométrie),

Le mieux-disant scientifique aboutit à faire sauter la banque (**ISO, observatoire IR**)

Horizon 2000: 1984 - 2009

- 1983 : R-M Bonnet engage la définition d'un programme à long terme qui donne des perspectives claires aux communautés scientifiques
- 1984: « Horizon 2000 » (→ 2009):
 - quatre « pierres angulaires » prédéterminées
 1. Soho (observatoire solaire) + Cluster (mission multipoints pour la magnétosphère)
 2. XMM/Newton : observatoire X
 - 3-4. Retour d'échantillons cométaire (→ Rosetta après retrait de la NASA)
 - 3-4. First/Herschel : observatoire submm (3 instruments, 60 μm – 625 μm)1992: Rosetta (2003 → 2004) puis Herschel (avec Planck) en 2009
 - cinq « missions moyennes », sélection compétitive comme avant
3 + 1 +1 lancées effectivement avant de passer à Horizon 2000+:
 - M1 (1988) = Huygens / Cassini (1997, atterrisseur Titan, 1/3 des col's sur l'orbiteur)
 - M2 (1993) = Integral (astronomie Gamma, 2001)
 - M3 (1996) = Planck (fond cosmologique, 2009 avec Herschel)
 - échec de Cluster (A501, « gratuit », 06/1996) + échec de « Mars 1996 » (11/1996)
 - Cluster 2 (2001), revol à l'identique, ce qui n'allait pas de soi
 - Mars Express (2003), seule mission « hors sélection » du programme obligatoire
 - Venus Express (2005), revol du bus Mars Express avec les reliquats Rosetta



Horizon 2000+ (1995 – 2018)

- **1995 : 2^{ème} « survey committee » (SSAC élargi)**

appel à proposition en 1993, 1,5 ans d'études préliminaires

→ **3 nouvelles pierres angulaires (~ 600 – 800 M€)**

- **BepiColombo** : caractérisation orbitale de Mercure (2 satellites, 1 JAXA)
- Astrométrie haute précision : **GAIA**
- ondes gravitationnelles : **LISA**

2 missions technologiques associées :

- SMART-1, 2003-2006 (propulsion ionique pour BepiColombo, 100 M€ succès complet)
- LISA pathfinder (accéléromètres, compensation de traînée); prévue pour 2009, surcoûts majeurs (450 M€ = mission M), succès en 2015-2017

surcoûts et retards pour LISA pathfinder, BepiColombo: GAIA passe devant (2012),
BepiColombo est lancé en **octobre 2018**, LISA est décalée vers Cosmic Vision

- **revols** (Cluster, Mars Express), **retards et surcoûts** des missions « pierre angulaires »
- 2001: **Roger Bonnet** → **David Southwood** ; **approche stratégique** → **approche tactique**

→ seulement **2 missions « M »**, sélectionnées en 2001 + 2 candidats « M en + »

- **Solar Orbiter**, « désélectionnée » en 2008 et remise en compétition pour Cosmic Vision
- contribution européenne à **JWST** (A5 + 50% du plan focal), prévue en 2009 → **2021 ?**

Aucun lancement de mission « M » entre 2005 (Vénus Express, « M en + ») et 2018

Le programme d'Exploration: Mars (Lune ? astéroïdes ?)

- **2005 (ministérielle de Berlin) : mise en place d'un programme optionnel**

- objectif prioritaire : développement technologiques
- contributions à l'initiative des pays membres (I: 45%, D, F, UK: 15%)

« ExoMars » : orbiteur relais + véhicule « Pasteur » pour l'exobiologie

initialement prévu pour 2011 pour 800 M€, > 1 M€ aujourd'hui

collaboration majeure avec la Russie (!) : **lancements « Proton »**, **module d'entrée**

- orbiteur en 2016 ; véhicule en 2020 (2022 ? 2024 ?)

- **un budget « bonus » (hors programme scientifique) ? pas vraiment !**

- les enjeux industriels priment (l'important est d'injecter des budgets, style ATV)
- les pays contributeurs ne sont pas d'accord (Allemagne : la Lune, la Lune, la Lune...)
- les surcoûts conduisent à tendre la sébille vers le programme obligatoire (~ 100 M€, et ce n'est pas terminé...)

ExoMars bloque toute initiative concernant Mars ou la Lune dans le contexte du programme obligatoire

COSMIC VISION: 2011 - 2035 (et plus si affinités)

- **2009-2011: étude de candidats « missions L » (= pierres angulaires)**

- 2 candidats « planètes géantes » :

- EJSM (système de Jupiter), TandEm (système de saturne)

- LISA (ondes gravitationnelles, reporté d'Horizon 2000+)

- IXO (observatoire X orienté spectroscopie, successeur de Newton)

tous les candidats sont en collaboration NASA, IXO associe aussi le Japon

2010: la NASA se retire (entre autres suite aux surcoûts énormes de JWST)

→ 3 candidats « ESA seule », JUICE (ex-EJSM), Athena (ex-IXO), NGO/LISA

avril 2012: **JUICE 2022, Athena+ 2028, LISA 2035**

- **l'ESA enquille les sélections M à un rythme élevé**

2011 : M1 = Solar Orbiter (2020), M2 = Euclid (**cosmologie**, 2021)

2014 : M3 = Plato (**astérosismologie**, planètes extra-solaires)

2018 : M4 = Ariel (**caractérisation spectroscopique** des exoplanètes)

2018 : démarrage du processus de sélection M5 (2030 ?): astro IR, astro X, Vénus

Les missions ESA depuis 1983

- **missions majeures (~ 1 milliards d'€)**

- 4 en 1984 (Soho / Cluster, XMM/Newton, Rosetta, FIRST/Herschel)
- 2+1 en 1995 (GAIA, BepiColombo, LISA → Cosmic Vision)
- 2005: ExoMars (niveau L+) via le programme d'Exploration
- 3 en 2012 (JUICE, ATHENA, LISA)

- **missions M**

- Horizon 2000 : 3 (1988 Cassini, 1993 Integral, 1996 Planck)
- Horizon 2000+ : 2 (JWST, Solar Orbiter), reportées sur Cosmic Vision
- Cosmic Vision : 4 (Solar Orbiter, Euclid, Plato, Ariel) + M5 en cours
(+ Venus Express, « M + » et 1 mission « S », 100 M€ : Cheops, exoplanètes)
- de **20 à 50 candidats** sur la ligne de départ
- **3 à 5 retenus** pour une phase A (**8** en 2012 pour 2 créneaux, M1 et M2)
rôle majeur du SS(E)WG et de l'AWG, validation par le SSAC
- priorités du **SSEWG** et de l'**AWG** → **1 mission recommandée** par le **SSAC**
- sélection (**SPC**) puis adoption 2 ans plus tard (**SPC**) après confirmation de la **faisabilité technique** et **consolidation des coûts** (??)

Le fonctionnement des comités consultatifs ESA (1)

- **très peu d'évolution depuis 1983**

Solar System Working Group → SSEWG (avec l'exploration) en 2009

Astronomy Working Group (inclut « fundamental physics » depuis 2002)

15 membres en 2004, 12 membres en 2019

SSAC: 9 membres en 2004, 12 +3 membres en 2019

2 membres es-qualité (présidents AWG et SSWG), 10 membres « at large »,
3 membres extérieurs (SPC, ESF, obs. Terre)

- **des mandats très courts et non renouvelables**

- renouvellement par tiers (4) tous les ans

- un seul mandat de 3 ans (parfois étendu à 4 ans) pendant une carrière

→ pas de « sénateurs », **opportunités pour les (relativement !) jeunes**

→ souvent trop court pour suivre un processus de sélection en entier

- le président est nommé directement par l'exécutif, et ce n'est pas neutre !

→ fort potentiel de contrôle de facto par le **secrétaire exécutif** ;

SSWG: M. Coradini de 1988 à 2009 (22 ans...)

- **une seule exception : revenir comme président**

YL: membre SSWG de **1984 à 1987**, puis membre « at large » SSAC **1998-2000**,
puis président SSWG de **2001 à 2003** (donc membre « ex-officio » du SSAC)

Le fonctionnement des comités consultatifs ESA (2)

- **Les présidents successifs : une corrélation substantielle avec les objectifs de l'exécutif**

1983: A. Gabriel (UK, physique solaire)

Soho – Cluster

Petite parenthèse sur le côté formateur du SSWG

- février 1984 : 1^{ère} participation au SSWG (Rome)

- J. Bleeker (président du SSAC, astronomie X) me prévient pendant le pot de bienvenue :
« compte tenu du poids des lobbies « hautes énergies » et « plasmas spatiaux »,
il n'y a **pas de place pour la planétologie** dans le programme européen »

fort heureusement, il était à côté de la plaque...

- présentation des missions : un physicien solaire (Ph. Delache, Nice), nous vent **Soho** sur la base de la découverte de « Geminga, l'étoile qui fait vibrer le soleil ». J'ai quelques doutes sur la capacité de Soho à détecter des ondes gravitationnelles...

présentation d'un projet de **rendez-vous multiple d'astéroïdes** (AGORA, propulsion ionique) en compétition avec **Soho** et **Cluster** (rien que ça !) pour 2 passages en phase A.

- « le » transparent (en fait 2) pendant la discussion et jusqu'au vote (ordre alphabétique):

AGORA
CLUSTER
SOHO

le vote donne 10 pour Cluster, 8 pour Soho, 6 pour AGORA, pas si mal !

→ **NASA DAWN** en 2005, **BepiColombo** (propulsion ionique) lancé en 2018

Petite parenthèse sur le côté formateur du SSWG

- février 1984 : 1^{ère} participation au SSWG (Rome)

- J. Bleeker (président du SSAC, astronomie X) me prévient pendant le pot de bienvenue :
« compte tenu du poids des lobbies « hautes énergies » et « plasmas spatiaux »,
il n'y a pas de place pour la planétologie dans le programme européen

fort heureusement, il était à côté de la plaque...

- présentation des missions : un physicien solaire (Ph. Delache, Nice), nous vent
Soho sur la base de la découverte de « Geminga, l'étoile qui fait vibrer le soleil.
J'ai quelques doutes sur la capacité de Soho à détecter des ondes gravitationnelles.

présentation d'un projet de **rendez-vous multiple d'astéroïdes** (AGORA, propulsion ionique)
en compétition avec Soho et Cluster (rien que ça !) pour 2 passages en phase A.

Alan Gabriel se lève, détache un transparent qui était superposé à l'autre, où on lit:

CLUSTER
SOHO

et il poursuit « let us now consider the way forward for the two phase A's ».

Le fonctionnement des comités consultatifs ESA (2)

- **Les présidents successifs : une corrélation avec les priorités de l'exécutif**

1983:	A. Gabriel (UK, physique solaire)	Soho – Cluster
1986:	S. Bauer (Autriche, atmosphères planétaires)	Cassini
1989 – 2004 :	H. Wänke (D, surfaces planétaires)	Marsnet
	Ph. Masson (F, surfaces planétaires)	InterMarsnet
	Y. Langevin (F, surfaces planétaires)	Mars Express
	N. Thomas (D, surfaces planétaires)	Exploration (ExoMars)
2006	P. Cargill (UK, plasmas spatiaux)	Solar Orbiter
2009	A. Coustenis (F, atmosphères planétaires)	JUICE
2013	J. Zarnecki (UK, matière extraterrestre)	Marco Polo/R
2016	O. Grasset (F, intérieurs sat. glace)	IDS JUICE

6 + 6 pour les membres, mais 8 des 10 derniers présidents sont « planéto » (dont 4 F)

- **cooptation des nouveaux membres : le casse-tête de la rotation rapide**

$12 = 2 F + 2 I + 2 D + 2 UK + 4 X = 3 \text{ plasmas}, 3 \text{ soleil}, 6 \text{ planéto}$

une quinzaine de propositions pour 4 places, **sélection par élimination**

difficile d'éviter la constitution de domaines réservés

F, I : planéto ; D : 1 + 1 ; UK, pays nordiques : PNST ;

des **progrès sur la parité** : 2 / 15 en 1984, **5 / 12 en 2019**

mais **une seule présidente** (A. Coustenis) / 10

Beaucoup d'appelés et peu d'élus

- un soutien au-delà de sa thématique est un atout majeur

quelques projets (Planck en 1996, Mars Express en 1998, Euclid en 2011) peuvent être considérés comme étant **les plus opportuns dans le contexte de la recherche spatiale mondiale**, y compris par des membres du SSAC **venant d'autres disciplines**.

Cela permet de surmonter des objections programmatiques (**pas de sélection pour Mars Express**) ou budgétaires (Euclid était **un peu au dessus de la barre**).

- dans les autres cas : 1. mettre sa maison en ordre

Face à des enjeux à 500 M€ ou plus et 10 à 30 ans, arriver en ordre dispersé conduit le plus souvent au zéro pointé (et qui plus est à juste titre)

1978 – 1983 : **la planète ne sait pas trop où elle va**

communauté émergente : syndrome du « on veut tout tout de suite »

1980: Giotto, **classé 2^{ème} par le SSWG**, est **repêché par le SSAC** (seul cas de ce type)

2011-2013 : JUICE (ex-EJSM), candidat L1 pour un lancement en 2022,
Marco Polo, candidat M1-M2, puis M3 pour un lancement en 2023.

La priorité sur JUICE est clairement affichée (on ne pouvait évidemment pas avoir les 2 !)

l'astro a **deux fers au feu** (Athena, X, et SPICA, IR), deux missions majeures envisagées pour 2022

- 2. faire preuve de persistance (l'ESA aime bien les plats réchauffés)

La longue route vers une mission ESA d'astérosismologie

1994-1996: STARS (**S**eismic **T**elescope for **A**strophysical **R**esearch from **S**pace)

Planck est sélectionné

1995 : **découverte de la première exoplanète** (51 Peg) par vitesse radiale
courbes de lumière: astérosismologie + exoplanètes par transit

1998 : CoRoT (CNES, initiative astérosismologie) est menacée (C-J Allègre).
La PI (A. Baglin) renforce la composante « exoplanètes », avec succès

2001 : Eddington (candidat « M en + » comme Venus Express), annulé en 2003

“ Eddington will be the culmination of an international attempt to perform
asteroseismology from space. Eddington will also detect planets passing
across the face of their parent star.” : **Astérosismologie + exoplanètes**

2011 : Plato (1), candidat M1-M2; même approche (courbes de lumières)
mais ce sont les **exoplanètes qui sont mises en avant**

Solar Orbiter et **Euclid** sont sélectionnées

2014 : présentation Plato (2): 20 planches, 19 sur les exoplanètes,
UNE sur le “**bruit astérosismologique**” à corriger (et ça marche...)

2018 : **sélection Ariel** (caractérisation spectroscopique) pour M4,
juste après M3/Plato, ce qui confirme que le SSAC ne considérerait pas
la thématique « exoplanètes » comme parfaitement couverte.

On ne contrôle pas tout, mais on peut s'en sortir

- Depuis 1983: taux de succès de 100% (pourvu que ça dure...)

TOUS les projets engagés par l'ESA ont été réalisés, même si c'est parfois avec des retards et des surcoûts substantiels (Herschel/Planck, BepiColombo, Solar Orbiter) (dans ce domaine, le record établi par la NASA avec JWST est hors de portée !)

- Les projets en collaboration sont tributaires du partenaire

1988 (sélection M1) : la NASA remet en cause les très gros programmes, dont CRAF/Cassini
→ **risque programmatique majeur** pour Huygens / Cassini

Le projet concurrent, **Vesta**, est en collaboration avec l'URSS.

Cassini est sélectionné, **manque effectivement d'être annulé 3 ou 4 fois par D. Goldin.**

CRAF est annulé, la NASA se retire de CNSR → redéfinition en crash en 1991 → **Rosetta**

en 1989, il serait clairement apparu que **l'URSS représentait également un risque programmatique...**

1996 (sélection M3) : l'exécutif met en avant un réseau de stations sur Mars, collaboration NASA

Un vote « transdisciplinaire » planéto conduit à la **sélection de Planck**

En 1998, la NASA grille sa mission martienne (Lockeed compte en pieds, la NASA en mètres)

→ **remise à plat complète du programme « Mars » de la NASA**

- **EJSM → JUICE + Europa Clipper** : coordination entre agences (moins risquée !)
- « happy end » pour le feuilleton ExoMars ? À voir en 2020 (voire en 2022)

Un bilan remarquable, une approche qui s'essouffle

- le budget du programme scientifique stagne, les missions prennent du retard
→ les perspectives de mission à l'ESA s'éloignent de plus en plus:

BepiColombo (Mercure) vient d'être lancée (avec 3 ans de retard) ; restent à lancer :

Solar Orbiter, (physique solaire)

JWST (NASA), successeur du HST, (2021 ? Initialement prévu en 2009 !)

Euclid (cosmologie, 2022)

JUICE (planétologie, 2022 ?)

Plato (astérosismologie, planètes extrasolaires, 2023 ?)

Ariel (planètes extrasolaires, 2026 ?)

Athena (observatoire X, 2028 ?)

l'ESA demande un fort investissement sur la charge utile dès la sélection des projets
les équipes techniques et scientifiques ne peuvent pas suivre N projets en parallèle,
les budgets des pays membres (**et en particulier du CNES**) non plus

prochaine opportunité (M5) au mieux en 2027, plus probablement à partir de **2030**
dernière mission L de « Cosmic Vision » (ondes gravitationnelles) en 2035 ?

Les priorités à 10 ans sont très contraintes par les projets ESA en préparation
→ impact sur les opportunités bilatérales à plus court terme avec le Japon, la Chine