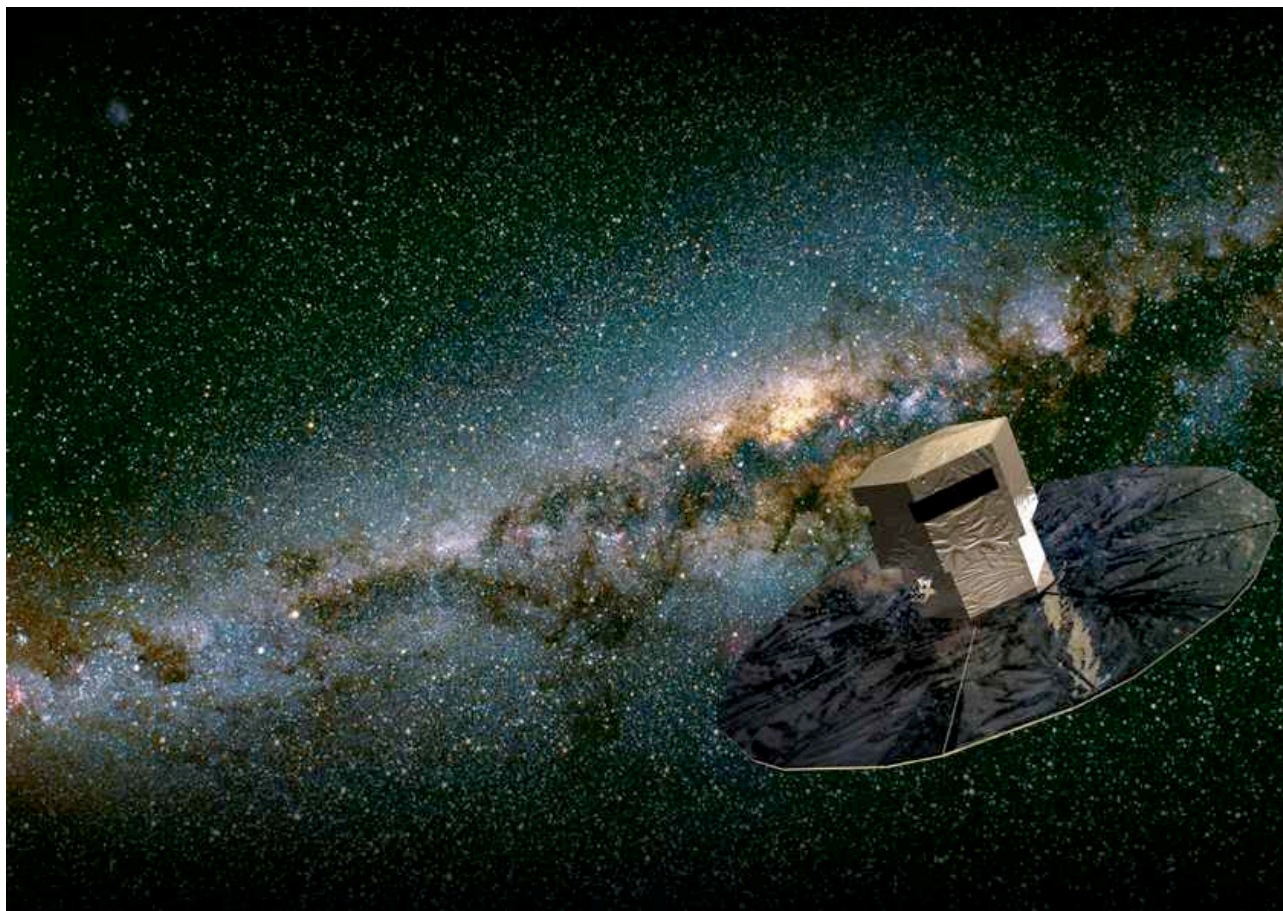


Proposition pour une Action Spécifique Gaia

ASGaia



C. Turon, F. Mignard, F. Arenou

Mai 2007

1- Pourquoi une Action Spécifique Gaia ?

Gaia est la prochaine « Pierre Angulaire » de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Sélectionnée dans le cadre du programme Horizon 2000+ en Octobre 2000, la mission est, depuis Février 2006, incluse dans le programme scientifique de l'ESA pour un lancement fin 2011 et un coût de 557 M€ (euros 2006). C'est l'une des priorités majeures de l'astronomie française confirmée à plusieurs reprises (prospective INSU 2003 et 2006, prospective CNES 2003, prospectives de plusieurs Programmes Nationaux (PNG, PNPS, PNC et PNP)).

La communauté française, déjà pionnière dans le projet Hipparcos, est très fortement impliquée dans Gaia, et y assume des responsabilités majeures. Cependant, au contraire d'Hipparcos où deux Consortia ont travaillé en parallèle, les données de Gaia vont être traitées par un seul Consortium, le Consortium DPAC (Data Processing and Analysis Consortium). Mis en place de juin à décembre 2006 pour répondre à l'appel d'offres de l'ESA, il est présidé par François Mignard de l'Observatoire de la Côte d'Azur, et la communauté française y assume un rôle de premier plan. Le Consortium est structuré au niveau européen et par définition son organisation fonctionnelle est transnationale. Le premier niveau de cette organisation se retrouve dans les Unités de Coordinations, qui sont des structures opérationnelles thématiques regroupant des équipes et des moyens de plusieurs pays. Cependant, et ceci est vrai pour chacun des grands pays participants, il doit exister une coordination nationale du fait des structures de financement des actions et des personnes qui demeurent essentiellement du ressort des Etats ou des grandes régions avec les règles administratives locales. La présente demande vise à formaliser cette structure « Gaia-France » vis-à-vis des instances nationales responsables de la politique scientifique et de la gestion des moyens.

Le rôle premier de l'Action Spécifique Gaia est de **coordonner**, sur le long terme (la publication du Catalogue est prévue pour 2020), les différentes activités de cette communauté dans le cadre de sa participation au DPAC. De plus, elle apportera une **interface claire et unique** entre la communauté Gaia et les tutelles, ce qui permettra aux responsables de s'exprimer au nom de cette communauté. Vis-à-vis de l'ESA, du DPAC, et des autres astronomes européens engagés dans la mission, l'Action Spécifique Gaia sera le **reflet et le garant de l'engagement français** dans le projet. Enfin, l'Action Spécifique Gaia permettra de préparer au mieux la communauté française à exploiter pleinement ces données d'une précision et d'une quantité sans précédent et à en obtenir un **retour scientifique maximum**. Ceci se fera en concertation avec les différents programmes nationaux concernés, avec des actions clairement ciblées sur les caractéristiques uniques des données Gaia. En effet, les domaines d'applications de Gaia relèvent de plusieurs programmes nationaux : PNG et PNPS pour l'astrophysique stellaire et galactique, PNP pour les exoplanètes et les petits corps du système solaire, PNC pour H_0 , la distribution de la matière noire dans le Groupe Local et la détection des premières générations d'étoiles de la Galaxie, très peu métalliques.

Le GDR Hipparcos avait montré, tout au long des travaux de préparation de la mission et de réduction des données (de 1981 à 1993), l'importance d'une telle structure pour la réussite de l'implication française et également pour sa visibilité et celles des tutelles qui soutenaient cette action.

2- La mission Gaia

Conçue dans la foulée du succès d'Hipparcos, première mission d'astrométrie spatiale, Gaia va nous apporter une masse de données uniques et révolutionner notre connaissance de la Galaxie, des différentes populations stellaires qui la composent et de sa place dans le Groupe Local. Avec l'observation extrêmement précise des paramètres astrométriques, photométriques et spectroscopiques d'un milliard d'objets, Gaia va mettre à disposition des astronomes de différentes spécialités les distances, les vitesses spatiales (mouvements propres et vitesses radiales), les

luminosités et diagnostics astrophysiques de tous les types d'étoiles, même les plus rares, dans toutes les phases d'évolution, même les plus rapides. Les applications sont en conséquence très variées et touchent de nombreux domaines : physique stellaire et galactique en premier lieu, dynamique du Groupe Local, mais aussi détection de systèmes doubles et multiples et d'exoplanètes, caractérisation dynamique et physique des petits corps du système solaire, cosmologie, applications en physique fondamentale.

La mission a été conçue dès l'origine pour observer simultanément, en mode « grand relevé », les différents paramètres nécessaires à un décryptage complet de notre Galaxie et de ses différents constituants. Elle comprend trois instruments : un instrument astrométrique permettant d'atteindre des précisions de l'ordre 20 microsecondes de degré à la magnitude 15, 0.2 milliseconde de degré à la magnitude 20 ; un instrument spectro-photométrique dans deux bandes de longueur d'onde (330-680 nm et 640-1000 nm), avec des performances de l'ordre du millième de magnitude à la magnitude 20 ; et enfin un instrument spectroscopique permettant l'observation simultanée des vitesses radiales jusqu'à la magnitude 16.5-17 et la détermination des paramètres atmosphériques et des abondances pour les étoiles les plus brillantes.

Le satellite, placé dans l'environnement très stable du point de Lagrange L2 (peu de perturbations, peu d'éclipses, stabilité thermique), sera animé d'un mouvement de rotation continue (60 secondes de degré par seconde), conçu pour que la couverture du ciel soit complète et que le ciel soit régulièrement échantillonné tout au long des cinq années de mission. Un peu moins d'une centaine d'observations en moyenne permet, outre une détermination extrêmement précise des paramètres astrométriques, l'étude de très nombreux phénomènes variables (variations photométriques et spectroscopiques, détermination d'orbites de systèmes doubles ou exoplanétaires, ou de petits corps du système solaire).

3- Les objectifs scientifiques

GAIA est avant tout un projet destiné à l'étude détaillée de la formation et de l'évolution de la Galaxie, mais la qualité et la quantité des données attendues permettent d'étendre ses objectifs scientifiques à peu près à tous les secteurs de l'astrophysique stellaire et galactique ainsi qu'à l'étude du système solaire, à l'astrophysique extragalactique et à la cosmologie:

- Physique galactique

- formation et évolution de la Galaxie
- recensement complet des étoiles du voisinage solaire, y compris naines blanches, naines brunes, compagnons (stellaires ou grosses planètes).
- caractéristiques de toutes les populations d'étoiles, dans toutes les parties de la Galaxie (disque mince et épais, bras spiraux, bulbe - barre, halo, amas globulaires, amas galactiques, courants d'étoiles)
- recensement des âges, âge des plus vieux objets de la Galaxie
- dynamique barre - bulbe, disque - halo, structure spirale, gauchissement, distribution de la matière noire, signatures de rencontres passées

- Physique stellaire

- détermination des paramètres fondamentaux pour tous les types possibles d'étoiles: luminosités absolues en plusieurs longueurs d'onde, masses, diamètres
- détermination des âges
- étude de toutes les phases d'évolution (même très rapides), depuis les proto-étoiles jusqu'aux phases ultimes

- étude des zones de formation stellaire
 - structure fine du diagramme HR, effets de métallicité, d'abondances, etc.
 - confrontation avec les modèles de structure et d'évolution stellaire: contraintes sur la longueur de mélange et la taille du cœur convectif
 - détection systématique de la binarité, dans certaines limites de différence de magnitude et de séparation
 - détection systématique de la variabilité (80 observations par objet, en moyenne)
- Systèmes planétaires extrasolaires
- inventaire complet de planètes de type Jupiter jusqu'à environ 200 pc
 - détection astrométrique de plusieurs dizaines de milliers de systèmes planétaires
 - détection photométrique de transits planétaires par milliers
- Systèmes de référence
- observation d'environ $5 \cdot 10^5$ quasars permettant la réalisation directe du système de référence ICRS dans le visible
 - près de 30 000 étoiles par degré carré dans le même système
 - réalisation du système dynamique par l'observation de $\sim 3 \cdot 10^5$ objets du système solaire, comparaison avec l'ICRS
- Échelle des distances, Groupe Local
- luminosité absolue de tous les indicateurs primaires de distance,
 - détermination directe des distances individuelles pour les étoiles les plus brillantes et distances moyennes de zones des galaxies voisines (Nuages de Magellan, Sagittarius, ...)
 - parallaxes de rotation des galaxies du Groupe Local
 - dynamique du Groupe Local, orbites
- Système solaire
- Observation répétée de $\sim 3 \cdot 10^5$ objets dans la ceinture principale, les géocroiseurs, les Centaures et la ceinture de Kuiper, ainsi que certains satellites et comètes
 - recherche de petits corps et de troyens ou co-orbitaux autour de Mars, de la Terre, de Vénus
 - orbites, masses, diamètres et densité des astéroïdes, effets non-gravitationnels, satellites d'astéroïdes
 - classes taxonomiques à partir de la photométrie multi-couleur
- Galaxies extérieures
- relevé photométrique de plus d'un million de galaxies
 - détection de plus de 100 000 supernovae
 - détection de centaines de milliers de quasars
- Cosmologie
- échelle des distances dans notre Galaxie et dans le Groupe Local, impact sur la détermination de H_0
 - dynamique de la Galaxie et du Groupe Local, distribution spatiale de la matière noire
 - détection et reconstruction des épisodes de fusion hiérarchique de la Galaxie
 - détection systématique et caractérisation des premières générations étoiles de la Galaxie, très peu métalliques
- Physique fondamentale
- coefficient de courbure de la métrique à $\pm 5 \times 10^{-7}$
 - facteur de précession du périhélie des astéroïdes à $\pm 5 \times 10^{-4}$
 - détection de la déviation de la lumière par les planètes

- moment quadrupolaire du Soleil à $\pm 2 \times 10^{-8}$
- variation séculaire de la constante de la gravitation à $\pm 2 \times 10^{-12} \text{ an}^{-1}$

Une description plus détaillée des objectifs scientifiques GAIA est disponible à l'adresse <http://www.rssd.esa.int/gaia>.

4- Le traitement des données Gaia

4.1- Les enjeux et les objectifs

Le traitement des données de Gaia est un véritable défi scientifique, humain, numérique et informatique :

- un milliard d'objets est observé par les instruments astrométrique et photométrique de Gaia, des centaines de millions par l'instrument spectroscopique
- les objets observés sont de natures différentes : étoiles (« normales », variables, doubles voire multiples, avec des exoplanètes ou des taches, etc.), objets du système solaire, quasars, galaxies non résolues
- chaque objet est observé environ 80 fois au cours des 5 années de mission
- l'ensemble des CCDs des trois champs représente environ 10^9 pixels
- les données reçues des trois instruments sont fortement interconnectées
- les trois instruments doivent être auto-calibrés
- le volume de données brutes est de l'ordre de 100 TB, et l'ensemble des données à considérer est de l'ordre de 1 PB en fin de traitement
- le traitement des données est effectué de manière itérative
- le traitement est distribué entre plusieurs centres, impliquant des transferts massifs de données
- le nombre d'opérations est estimé à environ 10^{21} Flops (l'équivalent de 3000 ordinateurs de bureau haut de gamme fonctionnant pendant 5 ans).

C'est aussi un défi « sociologique », car les équipes qui y participent sont réparties dans presque tous les pays d'Europe (16 pays avec au moins trois membres sont représentés dans le DPAC), viennent d'horizons différents (astrométristes, photométristes, spectroscopistes, informaticiens) et ont des habitudes informatiques éventuellement très différentes.

L'objectif est d'obtenir les paramètres scientifiques décrivant les objets observés (parallaxe trigonométrique, mouvement propre, magnitudes, vitesse radiale, paramètres astrophysique, etc.) à partir des données brutes. Le traitement des données peut être décrit comme l'ajustement itératif d'un nombre énorme de paramètres instrumentaux (10^8 pour l'attitude, quelques millions pour les calibrations), astrométriques, photométriques et spectroscopiques (de l'ordre de 2×10^{10} paramètres si l'on compte 20 paramètres par étoiles) à l'ensemble des données accumulées tout au long de la mission.

4.2- Le « Data Processing and Analysis Consortium » (DPAC)

Le traitement des données de Gaia, et leur exploitation scientifique, sont à la charge de la communauté, financé par les agences nationales. L'ESA finance le satellite, y compris la charge utile, le lancement, les opérations, la réception et l'archivage des données et le traitement initial des données. Le Consortium DPAC s'est formellement constitué le 15 juin 2006, avec pour premier objectif de répondre à l'appel d'offre émis par l'ESA en Novembre 2006 pour analyser les données de Gaia. Cette réponse (un document de 650 pages) a été soumise à l'ESA le 6 Décembre 2006, et la décision du Science Programme Committee (SPC) du Programme Scientifique de l'ESA est attendue pour Mai 2007. S'ensuivra une phase d'échanges entre l'ESA et les agences nationales pour garantir les financements des équipes engagées dans le Consortium.

Le DPAC, présidé par François Mignard (OCA), est constitué de neuf « Unités de Coordination » :

- CU1 : architecture d'ensemble du système de traitement
- CU2 : simulateur de la mission et des données
- CU3 : traitement des données astrométriques (étoiles simples)
- CU4 : traitement des données des objets particuliers (étoiles doubles et multiples, exoplanètes, objets du système solaire, galaxies non résolues)
- CU5 : traitement des données photométriques
- CU6 : traitement des données spectroscopiques
- CU7 : traitement des phénomènes variables
- CU8 : détermination des paramètres astrophysiques
- CU9 : accès au catalogue

Ces Unités de Coordination sont articulées autour de six centres de traitement de données (où sont effectués les calculs de masse). L'ESA (ESAC à Madrid) est responsable, en coopération avec le CNES-Toulouse, de l'architecture d'ensemble du système de traitement (CU1) et de la base de données centrale. Environ 300 scientifiques de vingt pays différents sont impliqués dans le DPAC (en plus de l'ESA). Cela représente 175 équivalents-temps plein.

4.3- La participation française

La participation française au Consortium est majeure, tant en termes de responsabilité que de main-d'oeuvre:

- François Mignard (OCA) préside le DPAC,
- 5 Français sont coordinateurs ou co-coordinateurs de CUs (CU1, 2, 4, 6 et 8)
- 6 Français sont membres de Steering Committees de CUs (CU4 et 6)
- le CNES est le centre de traitement le plus important après l'ESAC (coordination du traitement des données des CUs 4, 6 et 8 + gestion du simulateur de données de la mission au niveau du pixel) et a, en conséquence, en coopération avec l'ESAC, un rôle essentiel dans la CU1,
- **la France est le premier contributeur au Consortium, aussi bien en nombre de scientifiques (chercheurs et ingénieurs) impliqués (73) que d'équivalents-temps plein (43), soit environ 25% de l'effectif total.**

Cette participation s'articule autour de trois pôles : l'Observatoire de Paris (GEPI, IMCCE, SYRTE, LESIA), l'OCA (Cassiopee, Gemini) et le CNES, avec la contribution de nombreux autres instituts : les Observatoires de Besançon, Bordeaux, Marseille-Provence, Strasbourg, le GRAAL à Montpellier, l'Institut d'Astrophysique de Paris, et le LUAN. La liste des membres français du DPAC est donnée en Annexe. En plus d'une importante participation au management général de la mission (Gaia Science Team, Consortium, CUs), les scientifiques français sont particulièrement impliqués dans les CUs 1, 2, 4, 6 et 8 : architecture du système de traitement, simulateur de la mission et des données, traitement des données des étoiles binaires et multiples, des exoplanètes et des objets du système solaire, traitement des données spectroscopiques, analyse des étoiles variables, prise en compte de la relativité dans la réduction astrométrique, détermination des paramètres astrophysiques et obtention des données auxiliaires (stellaires, physiques, éphémérides).

Les participants sont soutenus par leurs laboratoires respectifs et les Programmes nationaux (PNPS, PNG, PNP, et PNC), avec un fort soutien du CNES (missions, fonctionnement, CDDs). Une estimation globale très approchée du **coût annuel consolidé** de la participation française actuelle à Gaia (hors CNES Toulouse) est de l'ordre de 2 M€ de salaires (charges comprises) et d'environ 150 k€ de fonctionnement. Ne sont pas pris en compte ici les frais d'infrastructure des différents laboratoires.

5. Quel rôle pour une Action Spécifique Gaia ?

Une structure CNRS de type Action Spécifique va apporter coordination et visibilité à la participation française à la réduction des données de Gaia et à la préparation de la communauté à leur exploitation scientifique. Il s'agit aussi au travers d'une reconnaissance institutionnelle de mieux identifier cette activité de façon globale et de permettre aux participants de s'identifier dans le contexte national. Le but final est d'assurer un retour scientifique maximum à la communauté française dans son ensemble. Trois grands types d'actions sont à mettre en place :

5.1. Coordonner le traitement des données Gaia

- Coordonner la participation française au Consortium d'analyse des données Gaia (DPAC)
- Coordonner les actions de préparation de la mission (en particulier modélisation de la Galaxie, éphémérides des objets du système solaire, etc.)
- Coordonner la contribution française aux observations au sol nécessaires au traitement des données et à la calibration des instruments
- Soutenir la participation de Français à des ateliers ou Ecoles relatifs des problèmes particuliers de la réduction des données (Java, statistiques, traitement du signal, etc.)
- Organiser ou participer à l'organisation de tels ateliers ou Ecoles

5.2. Donner visibilité et autorité à la communauté Gaia française

- Assurer une interface claire et unique entre la communauté Gaia et **l'INSU, le CNRS, le CNAP** :
 - Définition et validation des **tâches de service** liées à Gaia (Service d'Observation n°4 : Grands relevés et sondages profonds). Préparation des jeunes chercheurs à ces tâches de service
 - Proposition de profils prioritaires pour **affichages CNRS et CNAP** : pour maintenir et renforcer l'expertise française dans ce domaine, il est crucial de transmettre les compétences et d'assurer la suite de la génération Hipparcos. Les différentes équipes impliquées dans le projet Gaia ont à cœur de former des jeunes... et de les voir s'intégrer à la communauté française.
 - Gaia est un projet européen et il est essentiel d'assurer des échanges entre les différents pays impliqués. Nous demandons à bénéficier tous les ans d'un **postdoc CNRS** pour une durée de deux ans.
- Assurer une interface claire et unique entre la communauté Gaia française et le **CNES** :
 - Avis sur les demandes de **bourses** de thèse ou de postdoc
 - Demandes de **CDDs**
 - Soutien ou **consultance** scientifique
- Assurer une interface claire et unique entre la communauté Gaia et les **instances européennes** (ESA, Astronet, Europlanet, Bourses Marie Curie, etc...)

5.3. Optimiser le retour scientifique de la mission Gaia

- **Inform**er la communauté française sur les performances attendues de Gaia et sur l'avancement du projet
- **Organ**iser, en coopération avec les Programmes Nationaux concernés, ateliers ou Ecoles sur des thèmes spécifiques à Gaia
- **Coord**onner, en coopération avec les Programmes Nationaux concernés, des actions de préparation à l'utilisation des données de Gaia pour maximiser le retour scientifique à la communauté française (observations complémentaires au sol, modélisation, théorie)
- **Coord**onner le suivi au sol des détections astrométriques et photométriques d'exoplanètes avec Gaia

6. Organisation

La communauté Gaia est déjà très organisée au niveau européen. En conséquence, la structure envisagée pour l'Action Spécifique Gaia est légère. Nous proposons d'avoir un Conseil Scientifique (~ 10 personnes) qui soit en mesure de susciter des initiatives scientifiques en vue de l'exploitation optimum des données Gaia, de coordonner la préparation du traitement des données et d'assurer le suivi des différentes actions.

Il sera composé

- du responsable de l'AS Gaia
- des membres français de la Gaia Science Team (GST) et du Comité Exécutif du DPAC (DPACE)
- de 1-2 membres des différentes CUs à forte participation française (en complément des membres de la GST et du DPACE)
- de 2-3 experts en astronomie stellaire et galactique (structure interne et atmosphère stellaire, populations stellaires, dynamique, impliqués dans RAVE, ...), représentants des PNPS et PNG
- de 2 experts dans d'autres domaines (système solaire, cosmologie, physique fondamentale, bases de données), représentants des autres Programmes Nationaux.

Durée demandée pour l'AS Gaia : vu le calendrier de la mission, il est crucial d'assurer un soutien à long terme

- dans un premier temps jusqu'au lancement : 5 ans, 2007-2011
- dans un deuxième temps pour le traitement des données et l'exploitation scientifique : 10 ans, 2012-2021

7. Actions prévues

Les actions prévues sont de deux sortes :

7.1. Rassembler la communauté française Gaia et coordonner des actions communes

- Colloque d'ouverture
- Organisation d'un ou deux ateliers ou sessions de formation par an (selon les actions similaires organisées à l'échelle européenne)
- Soutien à la participation de chercheurs et ingénieurs travaillant en France à des ateliers Gaia organisés ailleurs en Europe.
- Organisation d'une session Gaia à la SF2A
- Organisation d'une réunion du Conseil scientifique par an
- Organisation d'un appel d'offre annuel et de l'évaluation des réponses :
 - pour le soutien aux observations préparatoires au sol
 - pour des actions de préparation à l'exploitation scientifique des données
 - pour la participation d'étudiants ou de jeunes chercheurs à des écoles ou colloques
 - pour la contribution à des séjours prolongés dans un autre institut européen
 - pour la diffusion des connaissances relatives à Gaia et aux domaines scientifiques concernés
- sélection du postdoc CNRS

7.2. Mettre en place des outils de diffusion de l'information

- Mise en place d'une page web pour l'information de la communauté impliquée dans Gaia, mais aussi de la communauté française dans son ensemble
- Diffuser les actes de colloques ou écoles organisés par la communauté Gaia
- Mise à disposition de la communauté d'outils pour la publicité du projet : diffusion des connaissances, actions pédagogiques (affiches, etc, en français, vers grand public/décideurs)

8. Moyens demandés

Le support aux équipes (fonctionnement, petits équipements et vacations au-delà des soutiens de base des laboratoires) pour leur participation aux activités du DPAC est assuré par le CNES pour un montant annuel de l'ordre de 90 k€, auquel s'ajoutent 3 postes CDD dans les laboratoires.

Les moyens demandés dans le cadre de l'AS sont de deux sortes : une demande de budget de fonctionnement pour financer les actions communes et les actions soutenues par l'appel d'offres et une demande postdoc CNRS.

8.1. Budget annuel pour les cinq premières années

- missions pour réunion annuelle, couplée avec le Conseil scientifique et l'évaluation des réponses à l'appel d'offres (alternance Paris-Provence)
 - membres du CS : 6 personnes se déplaçant x 0.6 k€ 3.6
- organisation d'une demi-journée annuelle à la SF2A (2 missions orateurs) 1.2
- organisation d'un ou deux ateliers par an, avec publication des comptes rendus 6
- budget pour l'appel d'offre
 - soutien aux observations au sol préparatoires à l'analyse des données ⁽¹⁾ 6
 - actions de préparation à l'exploitation scientifique des données 3
 - participation d'étudiants ou de jeunes chercheurs à des écoles ou colloques 6
 - contribution aux séjours prolongés dans un autre institut 6
 - actions de diffusion des connaissances 2

Total demande crédits

33.8 k€

8.2. Personnel

Gaia est un projet européen et il est essentiel d'assurer des échanges entre les différents pays impliqués. Nous avons demandé et obtenu un réseau européen (Research Training Network), ELSA (European Leadership in Space Astrometry). Il apportera, à partir du 4^{ème} trimestre 2007, un postdoc et une bourse de thèse en France, ainsi que l'opportunité, pour des postulants Français, de 8 bourses de thèse et 4 postdocs dans d'autres instituts européens impliqués dans Gaia. Cependant, la plupart des pays participant à Gaia ont, en plus de ce réseau, des programmes de postdoc agressifs. Par exemple, il y a actuellement en Allemagne huit postdocs travaillant à la préparation de Gaia, auxquels s'ajoute un poste actuellement ouvert à candidature. Deux de ces huit postdocs sont français. Trois autres jeunes français sont actuellement en postdoc dans divers instituts européens. Il est essentiel pour la communauté française d'être en mesure d'offrir des postes de même nature pour équilibrer les transferts d'expertise.

- Nous demandons en conséquence à bénéficier tous les ans d'**un postdoc CNRS pour une durée de deux ans.**

¹ n'inclut pas financement de ticket modérateur pour les temps de télescope nationaux (à demander via les Programmes Nationaux)