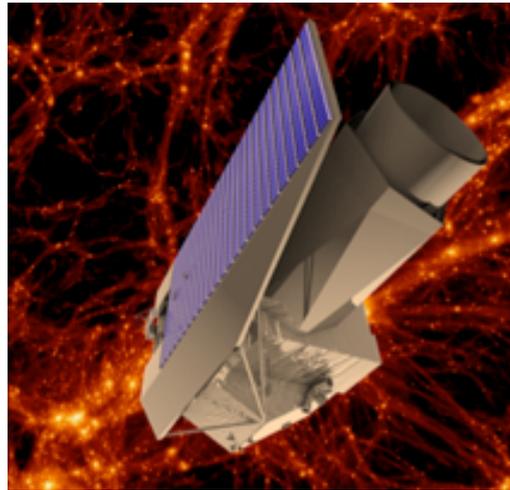


# EUCLID

---

## Conseil Scientifique de l'IN2P3

22 Octobre 2015



Ce document présente un état d'avancement depuis 2012 de la contribution de l'IN2P3 au projet spatial Euclid et développe l'organisation scientifique en préparation. Euclid est une mission spatiale de l'ESA à forte contribution française, dédiée à la compréhension de l'accélération de l'expansion de l'Univers utilisant plusieurs sondes cosmologiques et de grands relevés du ciel dans le visible et l'infrarouge. Cette mission, adoptée par l'ESA en Juin 2012, sera lancée fin 2020.

*Préparé par A.Ealet*

*Avec des contributions de : P.Astier, R.Barbier, H.Courtois, K.Ganga, Y.Giraud-Heraud, S.Kermiche, R.Lemrani, et J.Macias-Perez.*

<b>1. Les objectifs scientifiques.....</b>	<b>2</b>
<b>2. La mission Euclid .....</b>	<b>3</b>
<b>3. La préparation scientifique et le segment sol .....</b>	<b>5</b>
<b>a. Organisation scientifique dans Euclid .....</b>	<b>5</b>
<b>b. Objectifs et organisation scientifique en France .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Calendrier et état d'avancement du projet.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Faisabilité et avancement des contributions IN2P3.....</b>	<b>7</b>
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>9</b>

## 1. Les objectifs scientifiques.

La question de l'origine de l'énergie noire (DE pour *Dark Energy*) et de la matière noire (DM pour *Dark Matter*) est une des interrogations majeures de la physique contemporaine. En effet à elles seules ces deux composantes représentent plus de 95% du contenu de l'univers, et n'ont pas à ce jour été identifiées. L'étendue de notre ignorance peut être appréhendée en réalisant que l'énergie noire responsable de l'accélération de l'expansion de l'univers observée dès 1999 pourrait être une forme nouvelle d'énergie, ou bien une constante cosmologique, ou alors la manifestation d'une déviation aux lois de notre théorie de gravitation aux très grandes échelles cosmiques.

Devant cette inconnue majeure, la communauté scientifique a conçu plusieurs expériences majeures visant à cerner l'origine de la DE et la DM dont LSST et Euclid. Comme il est nécessaire d'observer les très grandes échelles auxquelles DM et DE sont sensibles, ces expériences font appel à de très grands sondages « cosmologiques » qui s'attaquent à l'ensemble du volume de l'univers.

La mission Euclid de l'Agence Spatiale Européenne est aujourd'hui la mission majeure de la communauté cosmologique européenne dont l'objectif principal est de déterminer les propriétés de l'énergie noire et de la matière noire pour appréhender leur nature (Laureijs et al. 2011).

Pour ce faire, la mission Euclid utilisera deux sondes cosmologiques principales, le cisaillement gravitationnel faible (weak lensing (WL)) et l'agrégation des galaxies (clustering) qui permet de mesurer le pic des oscillations acoustiques baryoniques (BAO) et les distorsions dans l'espace des redshifts (RSD). Le weak lensing permet de cartographier la matière noire dans l'univers et de caractériser les propriétés de l'énergie noire en mesurant la forme des galaxies lointaines déformées par les grandes structures de l'univers. La mesure des BAO permettent de mesurer les propriétés de l'énergie noire à grande échelle à partir du clustering des galaxies et les RSD permettent en plus de tester la validité de la loi de la gravitation à plus petite échelle. Une autre sonde cosmologique importante qui découle des précédentes est en plein essor autour des comptages d'amas de galaxies et pourra aussi être mise en œuvre pour fournir des contraintes importantes par cette voie.

Pour atteindre ses objectifs scientifiques la mission consistera en un télescope de 1.2m pourvu de deux instruments grand champ: un imageur visible optimisé pour la mesure de forme pour le WL, et un imageur et spectrographe dans le proche IR, dont la partie imagerie permettra d'optimiser la mesure des redshifts photométriques et la partie spectroscopie permettra les mesures des BAO et des RSD.

Euclid produira un relevé de tout le ciel, dont  $15000 \text{ deg}^2$  utilisable pour l'extragalactique, en imagerie visible ( $I < 24.5$ ) et NIR (Y,J,H < 24), et spectroscopie NIR (H < 19.5). Le relevé extragalactique sera optimisé pour les mesures de WL et BAO/RSD, et permettra d'identifier un grand nombre d'amas de galaxies. La combinaison de ces différentes sondes issues d'Euclid, ainsi qu'avec d'autres sondes cosmologiques complémentaires comme le CMB et les supernovae sera un des objectifs majeurs de la mission pour améliorer la précision de mesure au niveau du pourcent. Ce relevé produira ainsi des contraintes inégalées sur l'énergie noire, la matière noire et autres paramètres cosmologiques.

De par la nature de ce très grand sondage la mission Euclid a un important aspect Legacy. En effet le sondage de  $15000 \text{ deg}^2$  produira plus d'un milliard de galaxies observées en photométrie et plus de 50 millions de spectres de galaxies jusqu'à un redshift  $z \sim 2$ . Le sondage profond quant à lui produira l'imagerie profonde de plusieurs millions de galaxies jusqu'à  $z = 7-10$ , pendant l'époque de la réionisation, et plusieurs centaines de milliers de spectres de galaxies et quasars jusqu'à  $z \sim 7$ . Ces données uniques permettront des avancées majeures dans tous les domaines de l'astrophysique extragalactique, et particulièrement dans le domaine de la formation et de l'évolution des galaxies et des grandes structures.

## ***Contexte national/international***

Euclid occupe une place unique actuellement dans l'ensemble des expériences prévues au niveau mondial pour étudier la DE et la DM puisqu'il s'agit de la seule mission spatiale en cours d'implémentation dédiée à ce sujet.

Les grands sondages prévus avec les télescopes au sol comme DES en imagerie ou eBOSS, Sumire-PFS (télescope Subaru) et DESI (télescope 4m NOAO) en spectroscopie, apparaissent ainsi comme préparatoires et il convient de suivre leur développement pour être en phase avec les nouvelles découvertes qui seront apportées par les sondages qui produiront des données avant Euclid.

La complémentarité avec le programme de LSST est importante surtout par la possibilité de combiner les données photométriques visibles étendues en plusieurs filtres de LSST avec celles en Infra rouge de Euclid d'une part et la possibilité de combiner l'imagerie morphologique de qualité spatiale d'Euclid aux données LSST. Tous ces aspects devront cependant donner lieu à des accords spécifiques.

Dans l'espace la concurrence sera américaine si la mission WFIRST est complètement financée en 2016. WFIRST embarquera un imageur infrarouge sur un télescope de 2.4m, un spectrographe IFU dédié à la recherche de supernovae, et prévoit un sondage sur plusieurs milliers de degrés carrés donc plus petit qu'Euclid mais plus profond.

## **2. La mission Euclid**

Le consortium Euclid regroupe 17 pays européens, organisés autour d'un consortium scientifique de plus de 1200 personnes inscrits, incluant un groupe d'une quarantaine de chercheurs des Etats-Unis. La mission est sous responsabilité ESA avec une participation minoritaire de la NASA.

Le consortium a la responsabilité de définir les objectifs de la mission, de préparer son exploitation scientifique et de livrer à l'ESA les deux instruments embarqués, le spectrographe et caméra infrarouge NISP, et l'imageur visible VIS, qui couvrent tous deux un très grand champ commun de 0.54 deg<sup>2</sup>. Le consortium doit aussi livrer à l'ESA l'ensemble des logiciels du segment sol pour le traitement des données.

Les éléments de la mission sont identifiés en Figure 2-1.

Euclid est organisé autour des entités présentées en Figure 2-2.

La France est le pays européen le plus investi dans la mission Euclid. Le leader, *Euclid Consortium Lead*, de la mission est Yannick Mellier (IAP et CEA/IRFU/Sap), et un deuxième représentant français est présent dans l'ECB, le *Euclid Consortium Board* (Olivier Le Fèvre, LAM). L'ESA pilote les aspects scientifiques à travers un groupe science (EST) de 12 membres, ou les représentants français sont Y. Mellier et A.Ealet (CPPM).

La contribution française au consortium Euclid représente environ un tiers de l'investissement des différents partenaires. Un grand nombre des laboratoires de l'INSU et de l'IN2P3 conduisant des recherches en cosmologie et concernés par les aspects *Legacy* sont impliqués : IAP, LAM, IAS, IRAP, GEPI, Lagrange (INSU) ; APC, CPPM, IPNL, LPSC, LPNHE (IN2P3) ainsi que l'IRFU Sap et le SPP. Plus de 250 français sont enregistrés comme membres du consortium Euclid sur un total de 1200 inscrits dont environ 50 de l'IN2P3.

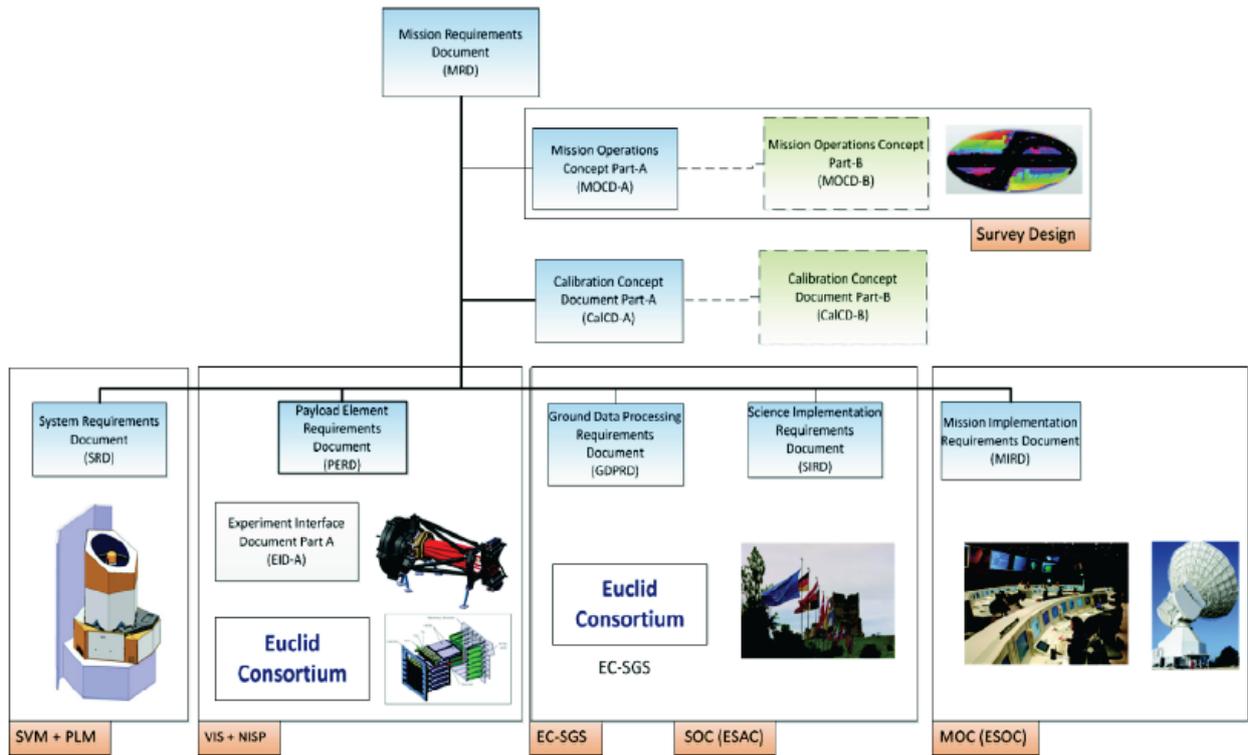


Figure 2-1 : Eléments de la mission Euclid

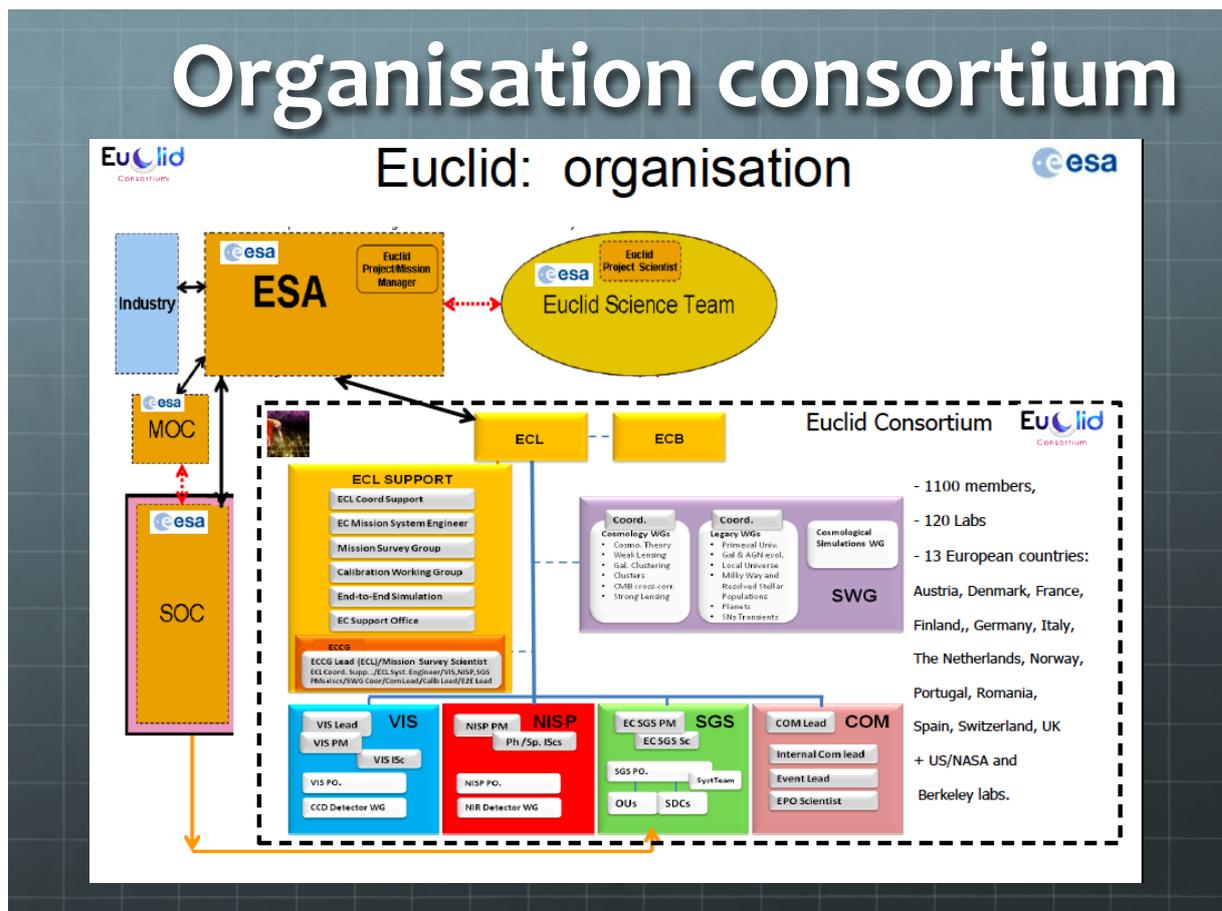


Figure 2-2 : Organisation du consortium Euclid

### 3. La préparation scientifique et le segment sol

#### a. Organisation scientifique dans Euclid

La préparation et l'exploitation scientifique du consortium sont organisées autour de 'science working groups' (SWG), pour une part autour de la Cosmologie, et pour l'autre part autour des thématiques Legacy (Figure 3-1).

-Cosmologie : Weak Lensing – Clustering – Clusters – CMB/Xcor – Strong Lensing – Theory - Simulations –

La France est lead ou co-lead de 3 de ces SWG après que 2 français se soient expatriés.

-Legacy : Primeval Universe – Galaxies/AGN evolution – Local Universe – Milky Way – Exoplanets – SNe and transients.

La France est lead ou co-lead de 4 de ces SWG Legacy.

Face aux quantités de données à traiter et aux difficultés du traitement des données, le segment sol d'Euclid (SGS) est un composant majeur du projet. Il représente en conséquence environ 50% de l'effort humain consenti sur Euclid.

Le consortium est organisé autour des *Organisation Units* (OU) qui regroupent des chercheurs experts du traitement ainsi que des développeurs qui produiront les codes tournant au sein des *Science Data Centers* (SDC). Les SDCs (7 dans 7 pays) sont en charge d'implémenter les pipelines et de produire les catalogues pour le consortium et pour l'ESA (les données deviennent publiques après une période propriétaire) .

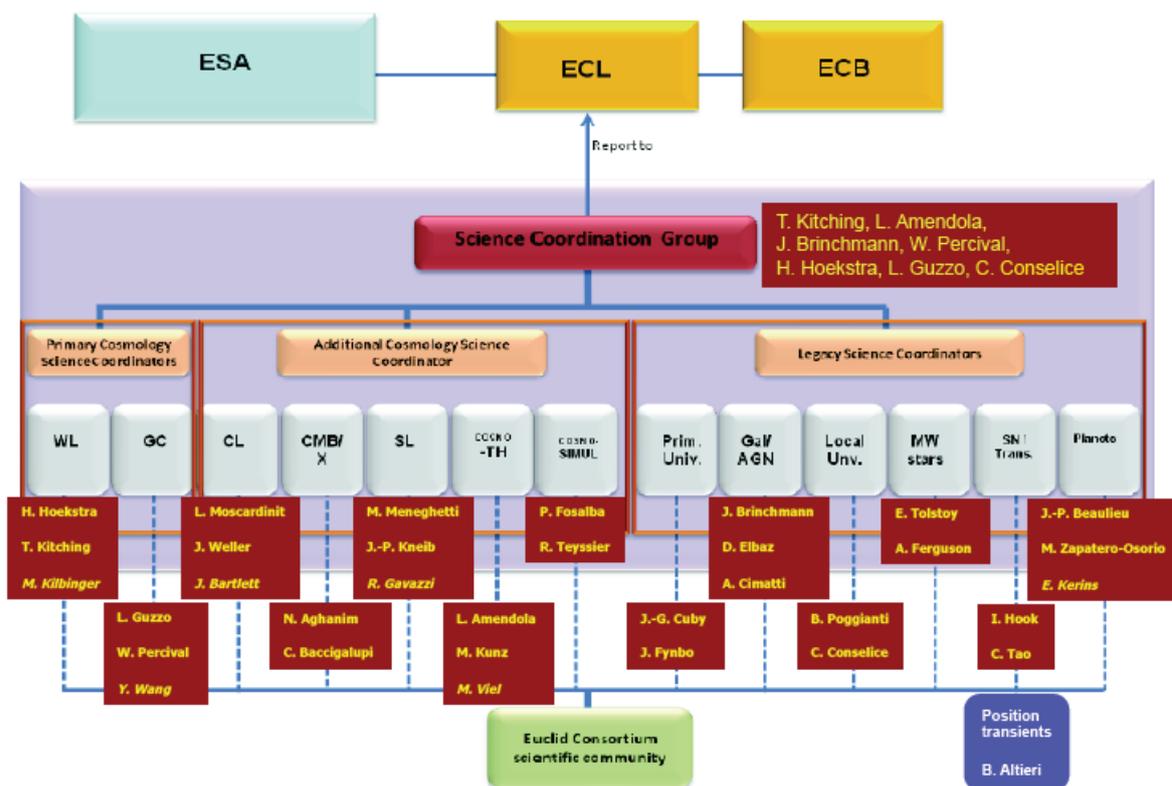


Figure 3-1 : Organisation en Science Working Groups d'Euclid

## **b. Objectifs et organisation scientifique en France**

Les responsabilités françaises dans le segment sol sont importantes et de hauts niveaux. Le scientifique responsable du SGS global est M. Sauvage (Sap). Le responsable scientifique en France est K. Ganga (APC). Le CNES est responsable du groupe système qui gère l'architecture d'implémentation globale et coordonne en France les aspects système, implémentation dans le SDC français du développement des codes et le suivi de la production et des contributions des laboratoires français.

Le centre de production français est le CC-IN2P3, suite aux accords passés entre le CNES et l'IN2P3. Le développement des codes est testé et validé dans un méso-centre qui se trouve à l'APC (Face). L'IN2P3 joue donc un rôle important dans la mise en place des moyens pour assurer le traitement et la production des données de Euclid.

Avec plus de 10 laboratoires impliqués, une coordination nationale a été mise en place pour définir un plan sur les activités scientifiques et coordonner les activités clés afin d'assurer un retour scientifique vers les équipes françaises proportionné à l'effort consenti.

Aujourd'hui, le but est de rassembler l'ensemble de la communauté française pour porter une expertise dans les domaines clés de cosmologie et prendre davantage de responsabilités dans la conduite de la préparation scientifique de la mission afin d'assurer un retour sur son exploitation. Dans cette mise en place l'IN2P3 se doit de jouer un rôle majeur.

Le Groupe de coordination Euclid-France (GEF) regroupe des représentants de chaque laboratoire et met l'accent sur les thèmes suivants avec 3 groupes de travail:

1. Sondes cosmologiques: WL, Clustering, Amas de galaxies
2. Combinaison des sondes cosmologiques : Euclid, et combinaisons de données externes CMB, SNe etc..
3. Formation et évolution des galaxies

Un plan de développement de chaque thématique permettra d'acquérir de nouvelles compétences au meilleur niveau international et de suivre les ressources humaines à mettre en place : doctorants, post-doctorants, ou chercheurs.

Les membres IN2P3 de Euclid participent activement à cette organisation et proposent une expertise sur les points 1 et 2.

Ce plan établi par la communauté Euclid en accompagnement de la préparation de la mission jusqu'au lancement prévu fin 2020 sera proposé à nos instances CNRS, IRFU et CNES . Il est important que l'IN2P3 y assure également une expertise et prépare la synergie avec les autres projets surtout avec LSST. Le besoin de développer aussi une expertise par un accès à des données intermédiaires dans les prochaines années est fondamental pour assurer une place visible dans cette organisation.

## **4. Calendrier et état d'avancement du projet**

Sélectionné comme mission M de l'ESA en 2011, la mission Euclid est maintenant en phase d'implémentation. Les 'preliminary design reviews (PDR) ' des instruments NISP et VIS et du SGS ont été passées avec succès en 2015, la PDR mission est en cours de finalisation.

Les CDR (critical design review) sont prévues en 2016.

Les prochaines étapes clé sont les suivantes :

- NISP et VIS Critical Design Reviews (CDR) : Mars 2016
- Payload module CDR : juin 2016
- Phase d'assemblage intégration et tests à partir de début 2017
- Lancement prévu fin 2020
- Phase d'opération de début 2021 jusqu'à 2027

Le développement de la mission Euclid est soutenu par le CNES, le CEA, et les instituts IN2P3 et INSU du CNRS. Ces organismes se réunissent en CIO (comité inter-organismes) une fois par an pour faire un bilan des implications en personnel et financières.

Les investissements financiers (AP) et soutien CDD sur les activités de développement des instruments et du segment sol sont assurés par le CNES à travers des accords spécifiques et des conventions mises en place au niveau des instituts (INSU, IN2P3, IRFU) pour chaque phase du projet.

Les instruments ont fini la phase B (conception) et sont en phase d'implémentation (phase C/D) jusqu'en 2018. Le segment sol est en phase de conception jusqu'à fin 2016 (phase B/C).

Outre les moyens humains permanents, chaque laboratoire et institut contribue par son infrastructure de recherche (moyens de calculs en particulier).

Dans cette organisation, le soutien scientifique en mission et le soutien scientifique en post-doc et thèses n'est pas compris et donne lieu à des demandes séparées.

## 5. **Faisabilité et avancement des contributions IN2P3**

La contribution IN2P3 au projet Euclid est regroupée autour des deux pôles de développement que sont l'instrument et le segment sol. Tous les laboratoires identifiés participent à ces deux aspects. Ces contributions n'incluent pas la partie science.

### a. **Participation à l'instrument NISP**

Les laboratoires IN2P3 ont centré leur contribution technique sur l'instrument NISP et en particulier sur les détecteurs infrarouges, de leur réception à leur caractérisation au CPPM, et à leur intégration au LAM sur l'instrument NISP, incluant la préparation des tests et de la calibration au sol et en vol. Le CPPM a la responsabilité complète du plan focal.

Le NISP est équipé d'un plan focal infra rouge constitué de 16 détecteurs H2RG. Les détecteurs sont des matrices pixels 2kx2k fabriquées par Teledyn aux Etats-Unis, et qui seront sélectionnées pour le vol par la NASA. L'IN2P3 a pris en charge tous les aspects détecteurs en Europe et assure leur réception au CPPM, leur caractérisation fine, leur calibration, leur intégration sur le plan focal, les tests de performance au sol puis en vol.

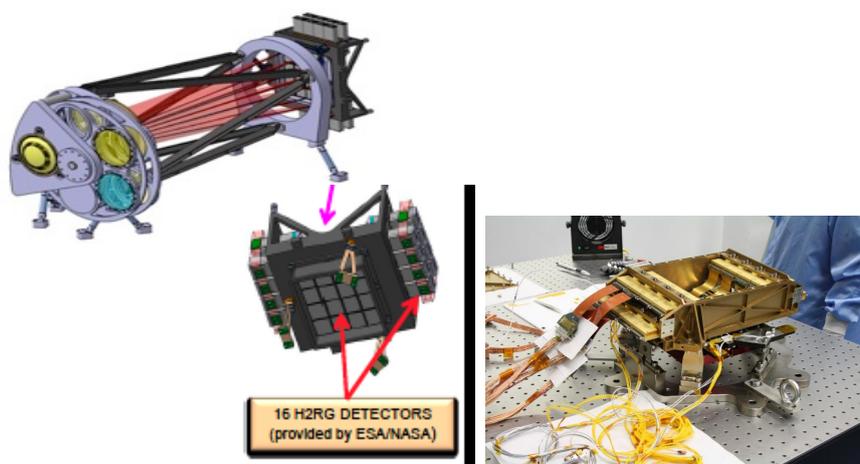


Figure 5-1 ; l'instrument NISP et le plan focal infrarouge Ni-DS.

L'IN2P3 assure la position d' 'instrument scientist' du NISP (A.Ealet) et de 'detector scientist' du NISP (R.Barbier).

Les responsabilités des laboratoires IN2P3 sont les suivantes :

-CPPM: Responsable du plan focal (NI-DS) (intégration et test). Responsable des caractérisations des détecteurs de vol.

-IPNL: Développement des procédures de caractérisation et de calibration des détecteurs de vol. Développement du pipeline d'analyse de la caractérisation pour le CPPM.

-APC et LPSC: Test et performance en radiation: les détecteurs n'ont pas été qualifiés en radiation par l'ESA et Teledyne. Nous avons proposé que l'IN2P3 gère cet aspect, ce qui réduit les coûts de l'ESA, en utilisant des facilités internes (faisceau d'Orsay, sources radioactives du LPSC). Le LPSC va aussi construire un cryostat en verre pour assurer des tests de susceptibilité.

Pour tous ces tests et pour les caractérisations, des facilités ont été développées dans chaque laboratoire (au moins un cryostat et les moyens associés par laboratoire), ainsi que deux cryostats dédiés aux détecteurs de vol uniquement, qui sont montés en salle propre au CPPM. Le CNES assure le financement de tous ces moyens.

Un premier démonstrateur de plan focal a été fabriqué à taille réelle avec 4 détecteurs et a fonctionné en condition nominale dans un cryostat du LAM (voir figure 5-1) en 2015. Cela a démontré notre capacité et notre maîtrise du système de détection du NISP.

## **b. Participation au segment sol**

Sur le segment sol, les laboratoires IN2P3 ont des contributions importantes dans plusieurs développements d'OU et dans la production des données.

Au niveau scientifique les contributions majeures sont sur les unités de développement de code avec des implications dans :

- les simulations (CPPM,IPNL, APC)
- les traitements du NISP niveau 1 et 2 (CPPM, IPNL,LPSC)
- le traitement des données externes (APC)
- le traitement de niveau 3 (APC,CPPM,LPSC)

Chacun des laboratoires IN2P3 a des responsabilités qui vont jusqu'à la coresponsabilité d'une unité.

Le SDC France est mené par le CNES et par K.Ganga à l'APC. L'APC abrite la plateforme collaborative de développement des codes (CODEEN) au centre François Arago (Face) . Quand les codes sont testés, ils sont installés au CC-IN2P3 pour la production.

## **c. Le CC-IN2P3 et le calcul Euclid en France**

Le CC-IN2P3 est le SDC-FR chargé de la production pour le calcul et la gestion des données.

L'accord passé avec le CNES en 2015 prévoit un engagement de l'IN2P3 de fournir les moyens et l'infrastructure de production de 30% de la première production de données soit vers 2022. Le CNES finance un soutien de 3 CDD pendant cette période.

Le CC-IN2P3 fournira dans cette période :

- Une plateforme de production (stockage, calcul, réseau) pour 30% du besoin global d'Euclid.
- Un support technique pour l'intégration et validation des codes.

- Un support dans le choix des solutions technologiques et leur mise en place.
- La préparation de la production par des Data Challenges.

#### **d. Les expertises scientifiques IN2P3 pour Euclid.**

Dans chacun des laboratoires, nous développons une expertise scientifique qui s'appuie sur l'expertise acquise dans d'autres projets comme Planck, e-BOSS pour le BAO ou SNLS et SNfactory pour les supernovae. Les experts des laboratoires se repositionnent donc dans les groupes correspondants.

- groupe clustering (BAO et RSD). (APC, CPPM, IPNL)
- groupe amas , CMB , et CMB lensing (APC, LPSC)
- groupe transients/supernova (CPPM, LPNHE)
- groupe théorie et combinaison de sondes (APC, CPPM)

A noter que dans la configuration de Euclid actuelle, le groupe supernova est une science 'legacy' et non de cosmologie. Il est cependant envisagé que la durée de mission possible dépasse le temps nécessaire aux relevés principaux d'Euclid. Les groupes français ont proposé alors un plan d'observation sur ce temps additionnel, destiné à mesurer des distances de supernovae lointaines (jusqu'à  $z \sim 1.5$ ), à l'aide de l'imageur IR d'Euclid, avec des observations dédiées. Cette proposition nécessite aussi un instrument au sol pour couvrir les bandes les plus rouges du visible, et le candidat naturel est LSST. Cette proposition a été publiée sous la forme d'un article co-signé par les membres d'Euclid et LSST. Le calendrier des décisions d'affectation d'un temps additionnel pour un relevé supplémentaire de ce type est aujourd'hui encore dans un processus de décision au niveau de l'ESA mais reste dans les possibilités ouvertes..

Enfin, nous souhaitons aussi développer fortement l'aspect combinaison de sondes qui est pour le moment une activité plutôt transverse et pouvoir jouer un rôle sur la partie interprétation pour l'énergie noire.

## **6. Conclusion**

La mission Euclid est maintenant entrée en phase d'implémentation et a consolidé une date de lancement pour fin 2020. La participation française est importante et bien identifiée. Il n'y a pas de problème majeur dans les développements techniques à ce jour, suivis par les diverses instances (CNRS, CNES et IRFU). L'IN2P3 est un acteur clairement identifié dans ces contributions aussi bien dans l'instrument NISP sur les détecteurs infrarouges que sur le segment sol avec le soutien calcul de l'institut.

La partie scientifique française est nettement plus faible et a besoin de se structurer afin d'augmenter son expertise et sa visibilité. Les scientifiques français dans Euclid s'organisent maintenant pour définir une stratégie commune et assurer ainsi un retour scientifique plus visible et une expertise en cosmologie et en énergie noire. Il est important que l'IN2P3 se prépare à ce tournant scientifique en préparant des jeunes experts capables d'assurer les analyses ambitieuses du futur.

### **Références bibliographiques :**

La mission Euclid est présentée en détail dans le « Euclid Definition Study Report », Laureijs et al., 2011arXiv1110.3193.

La présentation de la mission et les publications relevant du consortium peuvent être trouvées sur les pages du consortium : <http://www.euclid-ec.org/>

Les engagements financiers sont décrits par les conventions avec le CNES.

