



Campus Spatial CERES

Centre Etudiant pour la Recherche et l'Exploration Spatiale

Avant – projet
22 juillet 2013



Contacts

Benoît Mosser, professeur à l'Observatoire de Paris, Master OSAE et LabEx ESEP, benoit.mosser@obspm.fr

Pierre Drossart, directeur de recherche au CNRS et directeur du LabEx ESEP, directeur.esep@obspm.fr

Noël Grand, ingénieur au LISA, Université Paris-Est Créteil, noel.grand@lisa.u-pec.fr

Table des matières

Résumé exécutif	3
Motivation	4
1. Les nanosatellites étudiants	5
2. Les acteurs du projet de campus spatial	6
3. Le Campus Spatial CERES.....	7
3.1 Eléments de définition	7
3.2 Pourquoi un centre spatial étudiant sur le campus de Meudon ?	8
3.3 Dimensions régionale, nationale et internationale	8
3.4 Dimensionnement des moyens.....	9
Locaux.....	9
Encadrement	10
Gouvernance	10
3.5 Feuille de route.....	11
4. Le soutien de la fondation de coopération scientifique PSL	12
Annexes	13
A.1 Acronymes.....	13
A.2 Liens institutionnels	13
A.3 Sites en ligne	14
A.4 Un exemple concret : le projet et le stage d'ingénierie système de Tristan Allain, étudiant OSAE	14
A.5 Les enjeux pour l'enseignement	15
A.6 Le besoin des laboratoires	16
A.7 Le projet QB 50 OGMS-SA Cubesat mené au LISA, soutenu par ESEP	17
A.8 Projets nanosatellite du Campus Spatial CERES.....	18
A.9 Dimensionnement détaillé.....	19
A.10 Contributeurs au projets	20

Mots-clefs
Espace
Nano-satellite
Qualité
Systèmes complexes

Résumé exécutif

Les projets de nanosatellites étudiants sont en plein développement. Ils participent à l'essor des nouvelles technologies spatiales et à une pédagogie innovante pour former les futurs ingénieurs et chercheurs aux technologies d'avenir où règne l'exigence de performance et de qualité. Fort de l'expérience et de l'expertise de laboratoires et de formations réunis dans le LabEx ESEP, qui est inclus dans le périmètre d'Initiative d'Excellence PSL*, le projet de Campus Spatial CERES (Centre Etudiant pour la Recherche et l'Exploration Spatiale) a pour but d'affirmer PSL comme l'un des leaders dans le domaine des nanosatellites étudiants.

Ce projet présenté par le LabEx ESEP et coordonné par l'Observatoire de Paris présente un caractère innovant et structurant. Il ouvre l'accès aux technologies spatiales à un grand nombre d'étudiants. S'il concerne principalement les disciplines d'ingénierie, telles le parcours de Master Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace (OSAE) qui pilote le volet pédagogique du projet avec le LabEx ESEP, il est aussi ouvert aux scientifiques, aux juristes et aux managers, à tous les niveaux d'enseignement, L, M et D, des formations des périmètres de PSL et d'ESEP.

Stratégiquement, ce projet est indispensable pour favoriser le développement des compétences et expertises des laboratoires spatiaux aux nanosatellites. La miniaturisation des composants et des systèmes spatiaux ouvre la voie à une instrumentation spatiale plus légère. Ce gain de masse se traduit en coût moindre et en performance accrue.

Le Campus Spatial CERES inclut un Centre d'Ingénierie Concourante (CIC), qui permet la conception et la modélisation des systèmes complexes en intégrant directement les outils d'analyse fonctionnelle et de modélisation des sous-systèmes constituant un projet complexe. Dans un proche avenir, le CIC du Campus Spatial pourra irriguer de multiples enseignements en formation à l'analyse fonctionnelle, à l'étude système, à l'usage des outils informatiques de conception et réalisation des systèmes complexes, à la conception de projets dans des coûts et calendriers maîtrisés.

Par ce CIC et par les projets de nanosatellites, le Campus Spatial CERES propose une pédagogie performante s'appuyant sur une méthodologie professionnelle de pointe. Il renforce ainsi l'attractivité et la compétitivité des formations y participant, via un lien direct avec les projets spatiaux et ses acteurs institutionnels et industriels. Il ouvre une voie directe vers l'emploi dans le secteur de la haute technologie.

Le budget d'aménagement et d'équipement estimé à 450 k€ permet la constitution d'un Campus Spatial opérationnel, dont bénéficiera directement le projet en cours QB50/OGMS-SA déjà porté par le LabEx ESEP et soutenu par le CNES, puis les projets analogues portés par les partenaires institutionnels et industriels. Ce budget, demandé principalement à la fondation PSL, est à mettre en place avec différents partenaires (Observatoire de Paris, GIS Motespace, Région Île-de-France via le DIM ACAV et le prochain CPER), dans un calendrier de 2 ans et demi. Un budget de fonctionnement estimé à 10 k€/an sera accompagné d'un soutien en personnel fourni en négociation avec le LabEx ESEP et les laboratoires partenaires. Le montage du projet bénéficie d'ores et déjà du soutien de l'ingénieur système ESEP dès septembre 2013, permettant un démarrage rapide des actions à mener.

L'impact du Campus Spatial CERES permettra à tous les partenaires de rayonner dans les secteurs de pointe, le secteur spatial bien sûr, mais tous les secteurs où les projets nécessitent une gestion raisonnée de la complexité et la qualité. **La fondation de coopération scientifique PSL, notamment dans le contexte du développement de son Institut de Technologie et d'Innovation, fournit le cadre idéal au Campus Spatial CERES pour attirer, accueillir et gérer des fonds privés de partenaires industriels du secteur de l'espace et de la haute technologie.**

Motivation

Le projet CERES a pour but le développement d'un Centre Spatial Etudiant. Porté par l'IDEX PSL* (Paris Sciences Lettres), coordonné par l'Observatoire de Paris, il est présenté conjointement par le Laboratoire d'Excellence ESEP (Exploration Spatiale des Environnements Planétaires), pour le pilotage matériel et le management, et par la formation de Master OSAE (Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace), pour le pilotage pédagogique.

Ce Campus Spatial a pour vocation le développement de nanosatellites conçus et réalisés par des étudiants au cours de leur formation. Les nanosatellites étudiants forment les étudiants à l'ingénierie des systèmes complexes ; ils préfigurent l'un des développements d'avenir de la filière spatiale.

Ce développement de nanosatellites se fait en lien entre les étudiants du Master OSAE et diverses formations partenaires, via le partenariat ESEP, la cohabilitation du Master, et les formations de PSL¹. Il se conçoit avec de forts liens avec des partenaires industriels, qui sont amenés dans un avenir proche à devenir moteurs dans le développement des nanosatellites.

Cette synergie entre les acteurs publics et privés pour développer l'accès à l'Espace du futur nécessite le support de la **fondation de coopération scientifique PSL** et motive le présent projet.



¹ La définition précise du Master, les périmètres d'ESEP et de PSL sont donnés en annexe.

1. Les nanosatellites étudiants

Les différents acteurs du spatial veulent développer la filière des nanosatellites :

- Les étudiants se retrouvent acteurs d'un très grand nombre de projets de nanosatellites, comme le montrent, par exemple, les projets menés sur le Campus Spatial de l'Université de Montpellier ou à l'institut Van Karman de Bruxelles. Les projets nanosatellites étudiants ont été identifiés comme pédagogiquement très performants et sont promus comme vecteurs pour la formation à la science et l'ingénierie. Les étudiants aujourd'hui, jeunes ingénieurs demain, porteront les projets du futur. L'expérience du Master OSAE est développée en annexe, via la description de l'activité nanosat développée durant l'année 2012-2103 par le module Projets ainsi que l'expérience vécue par Tristan Allain, en stage professionnel sur le projet QB 50 OGMS-SA Cubesat mené au LISA avec le soutien d'ESEP². Cette expérience est destinée à s'étendre à d'autres formations dans lesquelles ESEP s'est engagé.
- Les laboratoires spatiaux, à la pointe du développement des concepts instrumentaux du futur, souhaitent pouvoir spatialiser avec des délais raccourcis les technologies les plus performantes qu'ils développent. Ceci nécessite une filière moins coûteuse et plus courte que les projets de grande ampleur actuellement menés. Le LabEx ESEP, qui regroupe des laboratoires spatiaux avec pour objectif de mutualiser les moyens matériels et humains en instrumentation spatiale, est en ce sens particulièrement concerné. Le CNES parie sur les nanosatellites comme filière d'avenir, pour des besoins ciblés, pour tester de nouveaux concepts.
- Les industriels ont de nombreuses raisons d'aller vers l'échelle nano, pour des questions de coût, de simplicité, de furtivité, et pour répondre aux besoins d'avenir. Cette demande à la fondation de coopération scientifique PSL est fondée sur les contacts pris avec Astrium Space Transportation, via le Master OSAE, et le souhait commun de développer des projets réunissant les objectifs d'Astrium Space Transportation et les compétences des étudiants OSAE.

Un nanosatellite, c'est quoi ?			
Taille de Cubesat	1 U (U = unité)	2U	3U
Volume	10 x 10 x 10 cm ³ (1 litre)	10 x 10 x 20 cm ³	10 x 10 x 30 cm ³
Masse	1 kg	2 kg	3-4 kg
Puissance disponible	1 W	2 W	5 W
Coût moyen (estimation CNES)	250 k€	500 k€	1000 k€

² Une description détaillée de l'expérience des projets nanosatellites étudiants est développée en Annexe

2. Les acteurs du projet de campus spatial

Les porteurs de ce projet Campus Spatial CERES sont le Laboratoire d'Excellence « Exploration Spatiale des Environnements Planétaires » (LabEx ESEP) pour les aspects organisation/intendance/gestion matérielle et les implications recherche attendues, et le Master OSAE pour l'aspect pédagogique.

- Le LabEx ESEP a pour mission la mise en réseau de 9 laboratoires de la région Île-de-France et de la région Centre, qui souhaitent mutualiser leurs compétences, leur longue expérience dans le domaine des environnements planétaires et leur savoir-faire dans le secteur spatial. Le LabEx ESEP se développe sur trois thématiques (relations Soleil-Terre, Planétologie et Exoplanètes) et selon trois axes de développement en R&D en instrumentation spatiale, formation et médiation scientifique. Il facilite la mise au point des instruments de demain sur les missions spatiales à venir. En plus de ses actions de recherche, il affiche des objectifs de formation auprès de plusieurs filières partenaires de ses composantes. Parmi ses missions d'enseignement, ESEP soutient le projet QB50 OGMS-SA et le développement de la filière des nanosatellites étudiants.
- Le Master Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace forme depuis 14 ans des ingénieurs aux compétences reconnues et utilisées dans l'industrie spatiale, en aéronautique et tout secteur de haute technologie, dans les agences spatiales et les grands centres d'observation. Par leur formation à l'ingénierie système, les étudiants OSAE jouent un rôle essentiel dans deux projets de nanosatellites soutenus par le CNES (dont le projet QB50 OGMS-SA piloté par le LISA et soutenu par le LabEx ESEP). Ils participent aux différents projets de partenaires du Master, d'ESEP et de PSL. Avec la création du Campus Spatial CERES, ils ont vocation à animer le développement de projets portés par ESEP et PSL. Il est évident que les autres formations dans lesquelles est impliqué ESEP ont également vocation à participer à ce projet, avec leurs spécificités.

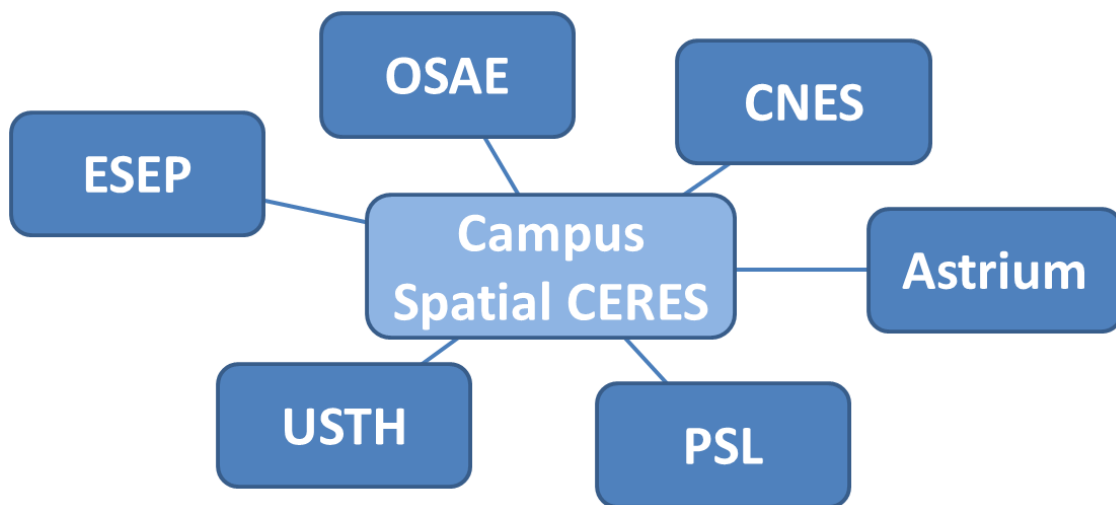
Les supports institutionnels du projet sont l'Observatoire de Paris, et la Fondation de coopération scientifique Paris Sciences et Lettres :

- L'Observatoire de Paris héberge le Campus Spatial sur le site de Meudon. L'Observatoire, via son laboratoire spatial (LESIA), en lien avec le DIM ACAV et le GIS Motespace³ soutient le regroupement des moyens d'intégration spatiale du site de Meudon, et y accueille le Campus Spatial CERES.
- L'IDEX PSL forme avec la plus grande exigence des scientifiques, des cadres, des juristes, des ingénieurs, pour tous les métiers qui font de la recherche, de l'innovation et de la créativité le cœur de leur activité. Les différentes formations de PSL, dont celles de l'Institut de Technologie et d'Innovation, ont vocation à participer, selon leur souhait, aux projets nanosatellites étudiants.

³ Le Groupement d'Intérêt Scientifique MOTESPACE réunit les laboratoires LESIA (Obs. Paris), IAS (Univ. Orsay) et AIM (CEA) pour une mise en commun des moyens d'essais spatiaux dans le but de développer et étalonner des instruments spatiaux.

Les enjeux de la filière nanosatellite et des projets nanosatellites étudiants sont vastes et diversifiés. Le cercle des membres fondateurs du projet a vocation à s'élargir à tout membre de PSL, d'ESEP et d'OSAE.

L'accent sera aussi mis sur le développement de collaborations internationales. Par le Master OSAE et le LabEx ESEP, les porteurs du projet Campus Spatial CERES sont déjà engagés dans le développement de projets de nanosatellites étudiants à l'USTH (Université des Sciences et Technologies de Hanoï) au Vietnam. De même, le LISA est en contact avec le regroupement d'universités de Virginie (Virginia Space Grant Consortium) pour la prise en charge du développement du segment sol de OGMS-SA.



3. Le Campus Spatial CERES

3.1 Eléments de définition

Le développement d'une filière nanosatellite performante nécessite la création d'un centre spatial étudiant (CSE), pouvant accueillir les étudiants acteurs du projet. Au confluent des collaborations du LabEx ESEP, du Master OSAE, de l'Observatoire de Paris et de PSL, les étudiants potentiellement intéressés sont :

- Des scientifiques, toutes thématiques confondues : les nanosatellites peuvent servir à tester des technologies, des matériaux, des concepts instrumentaux,
- Des ingénieurs, toutes thématiques confondues : un projet nanosatellite est un système complet dont les diverses fonctions nécessitent une vaste palette de compétences,
- Des managers : un projet spatial ne peut se faire que s'il est correctement piloté tant en interne au sein de l'équipe projet, qu'aux interfaces avec les différents acteurs, agences spatiales et industriels,
- Des juristes : l'accès à l'espace obéit aux règles du droit de l'espace ; la collaboration des acteurs publics et privés nécessite une organisation précise.

Le campus spatial nécessite, selon la pratique du CNES, deux lieux particuliers.

- Pour la conception des projets, la simulation de leur performance et de leur utilisation, un centre d'ingénierie concourante (CIC) permet d'intégrer dans un environnement collaboratif les différents acteurs participant au développement d'un projet, à l'optimisation des ressources et des compétences, de manière globale et concertée,
- Pour la réalisation des projets, des moyens d'intégration et de tests doivent réunir les différents outils et les différentes compétences pour viser le niveau de qualité nécessaire aux projets spatiaux.

Enfin, toujours en suivant la pratique du CNES, le Campus Spatial nécessite la conjugaison d'encadrement et de support pédagogique et d'ingénierie.

3.2 Pourquoi un centre spatial étudiant sur le campus de Meudon ?

Alors que les projets de centres spatiaux étudiants se développent sur différents campus, dont certains en région parisienne, il est pertinent d'analyser la situation du campus de Meudon de l'Observatoire de Paris et le bien fondé d'y développer un campus spatial étudiant.

Les atouts objectifs du campus consistent en la concentration d'expérience et d'expertise dans le domaine spatial, ainsi que la présence du Master OSAE. Le campus de Meudon réunit le LESIA, plus grand laboratoire spatial de l'Observatoire de Paris, avec à son actif la réalisation de très nombreux développements instrumentaux pour les projets spatiaux du CNES, de l'ESA et de la NASA. C'est au LESIA qu'a été dirigé le projet CoRoT, seul projet de petite mission astronomique mené par le CNES à ce jour. Le campus de Meudon accueille aussi, toujours au LESIA mais également au GEPI, le développement des instruments de nouvelle génération des quatre télescopes VLT/VLTI, ainsi que le développement d'instruments de première génération du futur très grand télescope ELT de l'Europe. Meudon héberge également le pôle instrumental de l'Observatoire de Paris, qui participe aux grands projets instrumentaux de l'astrophysique. C'est enfin le LESIA à Meudon qui est le partenaire coordinateur du LabEx ESEP.

Cette concentration d'expertise a conduit à centrer sur Meudon les étudiants du Master OSAE. Ces étudiants jouent actuellement un rôle clef dans les projets développés sur les autres campus parisiens (Université Paris Est Créteil, Université Paris-Diderot, Université Pierre et Marie Curie), par la coloration unique de leur formation à l'ingénierie des systèmes spatiaux.

Ce potentiel humain et cet encadrement unique assurent un projet solidement étayé tant par les compétences des étudiants que celles de leurs encadrants. Bâtir le Campus Spatial CERES hébergé par l'Observatoire de Paris, c'est accroître le rayonnement de PSL, en lien avec les partenaires multiples qui recherchent notre expertise.

3.3 Dimensions régionale, nationale et internationale

Le projet Campus Spatial est appelé à rayonner à différentes échelles.

Le LabEx ESEP est investi dans d'autres formations, en région Île-de-France et en région Centre. L'élargissement envisagé des projets va bénéficier aux étudiants de ces autres filières, avec leurs spécificités.

Le Master OSAE est une formation unique au niveau national, avec une seule filière équivalente à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, orientée vers les plateformes spatiales quand OSAE est spécialisé dans l'ingénierie système de l'instrumentation spatiale. De nombreux étudiants choisissent

un M1 dans l'un des établissements cohabitant OSAE pour venir accomplir l'année M2 OSAE. Le Master accueille aussi régulièrement des élèves-ingénieurs qui souhaitent valider leur formation par une année de M2 OSAE, ou de jeunes ingénieurs qui, pour acquérir des compétences spécifiquement spatiales, complètent leur formation par une année au M2 OSAE. La création du Campus Spatial CERES est indispensable pour consolider les compétences uniques du Master OSAE et permettre son rayonnement au bénéfice, entre autres, des formations de PSL.

Le LabEx ESEP et le Master OSAE sont aussi impliqués dans le Master Espace et Applications ouvert en septembre 2012 à l'Université des Sciences et Technologies de Hanoi. Ce Master est conçu pour former les ingénieurs vietnamiens qui vont créer le Campus Spatial vietnamien à Hanoi. Les partenaires vietnamiens nous ont demandé de proposer aux étudiants des projets de nanosatellites. Ceci va être développé d'ici quelques années, lorsque la formation du Master Espace et Applications pourra s'appuyer sur un environnement solide. La création du Campus Spatial CERES est, pour cette ouverture internationale, indispensable pour permettre au LabEx ESEP et à l'Observatoire de Paris de jouer leur rôle leader, dans ce partenariat international où sont impliqués le CNES, l'Université Paris-Diderot, l'Université de Montpellier, ainsi que via le premier micro-satellite vietnamien, EADS/Astrium.

3.4 Dimensionnement des moyens

Locaux

La mise en place du Centre Spatial (CSE) et de son Centre d'Ingénierie Concourante nécessite l'identification de locaux dédiés.

CIC : Afin de promouvoir un démarrage rapide, nous prévoyons une mise en place en deux étapes pour le CIC, avec dans un premier temps une installation du centre dans les locaux de l'Observatoire de Paris utilisés principalement par le Master OSAE, puis dans un deuxième temps l'installation dans des locaux dédiés. Cette première étape va permettre l'apprentissage des outils du CIC et l'accès à l'autonomie, par deux stages proposés par le CNES à Toulouse. Si la première étape garantit une mise en œuvre rapide, elle n'est à terme ni optimale, vu la configuration de la salle informatique du Master, ni viable, le CIC ayant vocation à accueillir différents projets nanosatellites alors que la salle informatique est utilisée pour diverses formations.

Des locaux en priorité dédiés au CIC vont alors être mis en place, dans un bâtiment en cours de réaffectation sur le campus de Meudon de l'Observatoire de Paris. Ces locaux seront réservés en priorité aux nanosatellites étudiants, mais aussi mutualisés pour tout projet étudiant ou nécessitant une analyse d'ingénierie concourante. Nous prévoyons ainsi de proposer aux niveaux L3 (premier cycle de PSL), M1 et D une formation méthodologique à l'ingénierie système. Dans cet esprit de mutualisation, différents partenaires sont sollicités pour le budget d'installation du CIC.

Le Master OSAE s'engage à contribuer à la première phase de la mise en œuvre du CIC via le parc de machines affectées au Master. La mise en place du concept de la plate-forme CIC et de ses logiciels dédiés étant proposée par le CNES, les crédits demandés concernent essentiellement :

- le suivi de la formation CIC proposée par le CNES (pour 15 étudiants et encadrants),
- la jouvence du matériel informatique.

Salles d'intégration et de test : Les salles d'intégration et de tests vont être montées en lien avec les moyens des laboratoires. Dans une première étape, les différents laboratoires d'ESEP participent à l'accueil des projets nanosatellites étudiants, comme c'est le cas pour le projet OGMS-SA piloté par le LISA. En deuxième étape, le réagencement des salles blanches du campus de Meudon va accueillir

des moyens dédiés d'intégration et de tests des projets nanosatellites. Le Campus Spatial CERES, réservé pour les nanosatellites étudiants, comprenant un laboratoire d'électronique et une salle blanche, va être créé dans ces locaux réaffectés. Ces lieux dédiés sont indispensables pour assurer le suivi et le déroulement des projets dans les conditions de qualité nécessaires pour les techniques spatiales. Comme pour le CIC, l'esprit de mutualisation utilise les compétences existantes (réunies dans le LabEx ESEP et avec les partenaires du Master OSAE), évite l'éparpillement des moyens, garantit la meilleure réussite des projets. Différents partenaires sont sollicités pour le budget.

L'environnement des laboratoires spatiaux participant au Campus Spatial CERES garantit la réunion des expertises nécessaires pour le fonctionnement des moyens de test. Une partie des ETP en appui au Campus sera fournie en négociation avec ESEP et les laboratoires.

Les caractéristiques des différentes salles pour le Campus sont proposées en Annexe.

Encadrement

L'animation du CSE et du CIC nécessite un encadrement scientifique et pédagogique, dans un cadre d'ingénierie performant. Le support du LabEx ESEP au Master OSAE et au LISA, essentiel pour démarrer en 2012 le projet QB50 / OGMS-SA, garantit l'affectation au projet d'un chef de projet (Boris Segret, sur CDD ESEP à partir de septembre 2013, affecté à mi-temps sur les projets nanosatellites). L'encadrement pédagogique est actuellement assuré par la direction à l'Observatoire de Paris du Master OSAE.

Le succès du projet nécessite l'accrétion d'un encadrement plus étoffé. Deux profils de poste ont été définis, l'un pour un support d'ingénierie, l'autre pour un support pédagogique, avec un mi-temps chacun affecté au projet. Ces profils mettent en avant une expérience dans les projets spatiaux et le management de projets, ainsi que le développement de projets spécifiques pour la filière nanosatellites étudiant

L'affectation d'un ingénieur et d'un enseignant-chercheur de l'Observatoire de Paris ou de PSL sera réalisée sur appel à projet. L'affectation d'un demi-ATER, à prendre en charge par l'établissement concerné, permettra de financer la délégation de l'enseignant-chercheur affecté au projet.

Gouvernance

La gouvernance du projet est conçue pour s'accorder aux structures institutionnelles dans lequel se développe le Campus Spatial, projet présenté par le LabEx ESEP et, pour la partie pédagogique, le M2 OSAE, coordonné par l'Observatoire de Paris et porté par PSL. Dans ce cadre, nous proposons que la structure de gouvernance s'appuie sur la gouvernance d'ESEP. Elle accueillera les partenaires industriels participant au projet, selon les règles de la fondation PSL.

Un bureau exécutif sera mis en place à la rentrée 2013, incluant le chef de projet, le responsable pédagogique des nanosatellites étudiants, des représentants des institutionnels portant ou hébergeant le projet (ESEP, Observatoire de Paris, PSL), dans une configuration à définir après concertation.

3.5 Feuille de route

2013-2014 : Création du centre spatial étudiant, autour des compétences du LabEx ESEP et du Master Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace. Mise en place de la première phase du CIC dans les locaux OSAE

2013-2106 : Réalisation et achèvement du projet QB50/OGMS-SA

2014-2015 : Installation des salles d'intégration ; deuxième phase du CIC, dans des locaux dédiés

2014-2015 : Démarrage d'un nouveau projet nanosatellite

2015-2017 : Démarrage potentiel d'un nouveau projet nanosatellite chaque année, selon le budget disponible, les projets des partenaires institutionnels et les projets des industriels du secteur spatial.

		2013	2014	2014	2015	2015	2016	2016	2017	2017	2018	2018
		S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Campus Spatial	CIC	0										
	CIC Phase 1	CD										
	CIC2 Phase 2		E									
				BCD								
	Salle blanche	0										
			AB									
				CDE	E							
	Salle électronique	0										
			AB									
Projets en cours	QB50 OGMS-SA	B										
			C									
				D								
					E							
Projets des partenaires ESEP, USTH				0A				0A		0A		
					B				B		B	
						C				C		C
							D				D	
								E				E

Phases des projets :

0 : Analyse / appel à projets

A : Analyse et faisabilité

B : Définition préliminaire

C : Définition détaillée

D : Réalisation, qualification

E : Utilisation

4. Le soutien de la fondation de coopération scientifique PSL

Les acteurs du projet Campus Spatial CERES ont identifié que son développement et sa réussite passent par le soutien d'une fondation réunissant les partenaires publics et privés. Ils sollicitent le soutien de la fondation PSL pour renforcer le projet initié par le LabEx ESEP, l'Observatoire de Paris et le Master OSAE, et surtout pour fournir une structure d'accueil pour les partenaires industriels du secteur de l'espace. Seul ce partenariat garantit un projet d'ambition et d'envergure à la hauteur des laboratoires spatiaux reconnus qui portent le projet.

Poste	Description	Budget (k€)	Partenaires sollicités	Budget total (k€)	Budget (k€) PSL (2014)
INFRASTRUCTURES					
CIC, 1 ^{ère} étape	Mise en place de la plate-forme	2	PSL /CNES / UFE	2	
	Stage de formation au CNES	2 années par an 15 x 0,6	PSL	18	
	Grand écran d'affichage	5 k€	PSL	5	
	Jouvence matérielle	15 x 0,6 k€	PSL /UFE / OP	9	
					34
CIC, 2 ^{ème} étape (*)	Aménagement d'une salle informatique (40 m²)	88	PSL /OP / LESIA / DIM ACAV	88	
	Serveur, routeur	5 k€		5	
	2 ^{ème} écran affichage	5 k€		5	
					98
Salles d'intégration (*)	Aménagement du laboratoire électronique (25 m²)	68	PSL /OP / LESIA / DIM ACAV	68	
	Installation du laboratoire d'électronique	40		40	
	Aménagement de la salle blanche (25 m²)	68		68	
	Traitement humidité de la salle blanche	100		100	
	Banc d'essai	33		33	
					309
PROJETS					
QB50 / OGMS-SA	Phase O-C	500	ESEP / CNES / Industriels		
	Phase D	250	CNES		
	Lancement	250	CNES		

(*) le détail des salles d'intégration et de tests est donné en Annexe.

Ce budget permet au Centre de fonctionner de manière autonome. 25 k€ permettent de démarrer en 2013 pour la première phase du CIC. Un projet plus détaillé sera proposé après retour des partenaires, impliquant les apports de l'Observatoire de Paris, du GIS Motespace, de la Région Île-de-France via le DIM ACAV et le prochain CPER.

Annexes

A.1 Acronymes

CERES	Centre Etudiant pour la Recherche et l'Exploration Spatiale
CSE	Centre Spatial Etudiant
CIC	Centre d'Ingénierie Concourante
DIM ACAV	Domaine d'Intérêt Majeur, Astronomie et Conditions d'Apparition de la Vie (en ÎdF)
ESEP	Exploration Spatiale des Environnements Planétaires (LabEx)
ETP	Equivalent Temps Plein
GEPI	Laboratoire Galaxies, Étoiles, Physique, Instrumentation de l'Observatoire de Paris
GIS	Groupe d'intérêt scientifique
IDEX	Initiative d'Excellence
LABEX	Laboratoire d'Excellence
LATMOS	Laboratoire ATmosphères, Milieux, Observations Spatiales
LESIA	Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique de l'Observatoire de Paris
LISA	Laboratoire Interdisciplinaire des Systèmes Atmosphériques
LPC2E	Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace
MoTeSPACE	Moyens de Tests spatiaux franciliens pour l'astrophysique
OSAE	parcours de Master Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace
QB50	Nom du projet Européen de 50 cubesats (pilote par le VKI)
USTH	Université des Sciences et Technologies d'Hanoï
TRL	Technology Readiness Level (niveau de maturité technologique)
UHF/VHF	Bandes de fréquence utilisées pour les transmissions satellite
S	Bande de fréquence utilisée pour les transmissions satellite
VKI	Von Karman Institute de Bruxelles

A.2 Liens institutionnels

ESEP	Partenaires ESEP : LESIA - Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (coordinateur) LATMOS - Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (UVSQ) LPC2E - Laboratoire de physique et chimie de l'environnement et de l'espace (Univ. Orléans) LISA - Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (Univ. Paris-Est-Créteil) IAP - Institut d'astrophysique de Paris (UPMC) LMD - Laboratoire de météorologie dynamique (UPMC) IMCCE - Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (Obs. Paris) USN - Unité scientifique de la station de Nançay (Obs. Paris) LERMA - Laboratoire d'étude du rayonnement et de la matière en astrophysique (Obs. Paris)
PSL	Membres fondateurs : Collège de France, Chimie ParisTech, Ecole Normale Supérieure, ESPCI, ParisTech, Institut Curie, Observatoire de Paris, Université Paris-Dauphine Membres associés : MINES ParisTech, Ecole Nationale Supérieure des Arts Décoratifs, Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts, Conservatoire National Supérieur d'Art Dramatique, Conservatoire National Supérieur de Musique et de Danse de Paris, La fémis (École nationale supérieure des métiers de l'image et du son), Institut Louis-Bachelier, Fondation Pierre-Gilles de Gennes pour la recherche, Fondation Rothschild, Lycée Henri-IV Organismes de recherche : INSERM (fondateur), CNRS (fondateur), INRIA (associé)
OSAE	Parcours de Master Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace, cohabilité par la spécialité Astronomie, Astrophysique et Ingénierie Spatiale portée par les Universités Pierre et Marie Curie, Paris-Diderot, Paris-Sud et par l'Observatoire de Paris

A.3 Sites en ligne

ESEP <http://www.esep.pro/>

OSAE <http://osae.obspm.fr/>

PSL http://www.univ-psl.fr/default/EN/all/psl_fr/index.htm

USTH <http://usth.edu.vn/fr/studycourses/mastercourses/master-of-space-and-applications/>

A.4 Un exemple concret : le projet et le stage d'ingénierie système de Tristan Allain, étudiant OSAE

« Le projet de nanosatellite étudiant initié par le LISA et l'ESEP est une expérience extraordinaire pour tout étudiant ingénieur souhaitant s'engager dans le spatial. Il a pour vocation la formation d'une équipe projet étudiante afin de répondre aux exigences d'un lancement de satellite et aux contraintes imposées par un projet Européen tel que QB50. L'objectif donné aux étudiants est de proposer, à moindre coût et dans un délai limité, une plateforme CubeSat 3U de démonstration technologique.

Chacun des étudiants engagés, de par leurs formations variées, apporte une expérience différente à l'équipe, permettant une complémentarité touchant les multiples domaines de compétences nécessaires à la réalisation d'un satellite. Au sein de ce projet spatial et de ses phases successives, les étudiants se voient confrontés à des difficultés d'organisation en plus des problèmes techniques et scientifiques auxquels ils doivent répondre. Ce projet développe donc également, en plus des connaissances techniques, le professionnalisme de l'étudiant, via l'apprentissage de méthodes efficaces de gestion, via le contact avec les initiateurs européens du projet, ou encore avec les partenaires commerciaux pour l'approvisionnement de pièces, de matériaux ou de composants...

C'est dans une optique de cohésion et de cohérence, que mon rôle d'« Ingénieur Système » s'inscrit au sein de cette équipe. Afin d'assurer le bon dialogue entre les différents étudiants spécialistes s'occupant de l'étude d'un sous-système précis du satellite, je me dois d'être en interaction constante avec l'ensemble des étudiants, gérant les éléments communs, définissant clairement les interfaces entre composants et participant à leur conception. Tout ceci en accord avec le reste du satellite et du système complet. Mon rôle consiste également, en parallèle, à effectuer un travail de synthèse à travers l'élaboration des budgets systèmes globaux, collectant les données de chacun afin de vérifier l'adéquation de la solution proposée avec les spécifications et les contraintes de la mission.

Le Master OSAE, au cours du premier semestre de l'année universitaire 2012-2013, m'a proposé une formation axée vers cette vision système, me formant dans une grande majorité de ces domaines, tels la mécanique, la thermique, l'automatisme liée au contrôle d'attitude, les communications ou encore l'électronique. Toutes ces connaissances sont mises en application lors de la conception du satellite. Ceci m'a donné les clés pour interagir avec chaque corps de métier et me permettre d'effectuer le dimensionnement de tous ces sous-systèmes.

Un tel projet regroupe en fait l'ensemble des compétences analytiques, pratiques et théoriques acquises au cours de l'année et des expériences précédentes pour les mettre à profit au cours des phases d'analyses, de design, puis de tests et de réalisation d'un projet motivant, et gratifiant. »

A.5 Les enjeux pour l'enseignement

Le laboratoire d'excellence ESEP a permis au Master Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace (OSAE) de se lancer dans l'aventure des projets "nanosatellites étudiants" depuis la rentrée 2012, et permet au Master Espace et Applications de l'Université des Sciences et Technologie d'Hanoi (USTH), cohabilité entre autres par l'Observatoire de Paris, de suivre ce mouvement. Comme l'indique son titre, le Master OSAE a pour but de former des étudiants à l'ingénierie système, en profitant des compétences des ingénieurs et des équipes des laboratoires d'astrophysique concevant les grands projets sol et espace de la discipline.

Durant l'année universitaire 2012-2103, 14 étudiants du Master OSAE ont accompli leur projet de Master sur une thématique "Cubesat", et 1 étudiant est actuellement en stage sur ce sujet. L'expérience d'une année, pour un développement de phase 0/A, dégage d'ores et déjà un grand nombre de points positifs pour la formation en ingénierie spatiale, si bien que le souhait est de développer le projet. Ces aspects positifs se déclinent dans de multiples directions.

Pédagogie performante : les étudiants accueillis au Master OSAE, issus de diverses filières scientifiques sélectives, montrent d'excellentes capacités d'apprentissage sous toutes les formes, des plus abstraites et théoriques aux plus appliquées. Pour optimiser la formation qualitativement et quantitativement, il est important de diversifier ces formes d'apprentissage et donc de proposer des apprentissages par la pratique pour éviter la saturation d'enseignements théoriques (tellement plus facile et moins onéreux à proposer !). La participation aux projets "Cubesat" a prouvé être très efficace en ce sens : elle ne découpe pas artificiellement l'apprentissage en cloisonnements étanches, mais allie naturellement les différents éléments nourrissant une réflexion complexe, de la référence la plus théorique à l'application la plus concrète. Les étudiants ne réfléchissent plus comme des étudiants mais comme des ingénieurs en situation réelle de travail.

Méthodologie : la participation aux projets Cubesat permet de développer des aspects méthodologiques performants. Vu l'ampleur du projet, le travail collaboratif s'impose, et avec lui le développement d'une organisation efficace. Cela permet de concrétiser l'importance des compétences individuelles aux bénéfices d'une réalisation collective. En parallèle, la réalité du but à atteindre induit la nécessaire utilisation d'outils dédiés. Il ne s'agit donc pas de passer du temps à apprendre à utiliser un outil, quel qu'il soit, mais de produire un résultat tangible avec cet outil. Ceci fait plus qu'optimiser l'apprentissage : ça le transcende, en transférant le sentiment de l'effort à fournir de l'apprentissage au résultat. Or il est bien plus valorisant de se fatiguer pour un bel objectif que pour l'apprentissage d'un outil.

Professionalisme : la participation aux projets Cubesat permet de développer efficacement des comportements professionnels. Le Master OSAE favorise les projets de toute nature, menés de façon collaborative, mais les enjeux restent souvent limités à des TP étendus ou des projets sans réalisation concrète. Avec l'objectif d'un Cubesat, ces enjeux se concrétisent : la documentation produite doit effectivement servir à d'autres groupes, les spécifications ou dimensionnements émis vont effectivement être testés, la dynamique projet doit effectivement être efficace, les contacts pris avec les partenaires (agences, industriels...) doivent effectivement porter le projet, les délais à respecter sont de vrais délais imposés par des contingences extérieures, les compétences absentes doivent absolument être trouvées dans le cadre d'un partenariat efficace.

A.6 Le besoin des laboratoires

Actuellement les projets spatiaux sont longs et coûteux, et les opportunités de lancement pour un instrument scientifique très restreintes. Les degrés de maturité et de fiabilité des instruments nécessaires pour qu'une mission soit sélectionnée sont tels que les technologies qualifiées pour voler aujourd'hui sont immanquablement bien anciennes par rapport à celles utilisées dans les laboratoires, avec des performances en retrait.

Pour répondre aux besoins sociétaux et poursuivre l'étude en sciences de l'Univers, la communauté scientifique ressent le besoin croissant de lancer plus d'instruments en orbite terrestre ou dans le système solaire, avec un prix de revient de plus en plus faible et avec des technologies à la pointe du progrès. De plus, les laboratoires ont un besoin pressant de renouveler le vivier d'ingénieurs passionnés par le domaine spatial, dans des conditions où le recrutement de bons ingénieurs est de plus en plus difficile.

C'est pourquoi le LabEx ESEP met en place une approche globale de développement de plateforme nanosatellite avec pour objectifs :

- le développement d'un CubeSat 3U avec une architecture évolutive et des éléments standardisés
- le développement du segment sol pour le pilotage du satellite et la réception des données,
- la mise en place des filières de tests environnementaux (vibrations, cyclage thermique, etc.)
- le développement de charges utiles inspirées par les besoins des laboratoires pour pousser la maturation des technologies pour les futures missions scientifiques.

Ce développement est proposé aux étudiants des formations Master et IUT des périmètres des partenaires, avec l'appui des chercheurs et ingénieurs des laboratoires de l'ESEP, afin de familiariser les étudiants aux projets spatiaux. Les étudiants travaillent en équipe projet et abordent tous les aspects critiques d'un projet spatial depuis la définition des spécifications et des interfaces jusqu'à l'intégration et à l'exploitation du satellite en vol, en passant par la documentation.

L'objectif à terme est d'avoir une plateforme totalement développée en interne, peu coûteuse et pouvant être dupliquée à volonté pour accueillir des instruments scientifiques. La plateforme sera stabilisée et orientable, pourra communiquer avec le sol (bande UHF/VHF puis bande S par la suite), sera dotée d'un système de distribution d'énergie standardisé. Dans une première phase, les instruments seront des démonstrateurs technologiques en orbite autour de la Terre. La phase suivante consistera à effectuer des mesures scientifiques en orbite, puis à envoyer des instruments explorer le système solaire au-delà de l'orbite terrestre.

Pour ce faire, nous appliquons une approche globale, tant pour le développement des CubeSat (mise en place de segment sol et de filières de tests environnementaux pérennes) que pour le développement des instruments scientifiques. Ceci comprend la mise en place de moyens de simulation en laboratoire afin de valider le concept instrumental mais aussi de simuler les observations en orbite (ou dans le système solaire). Cette approche est déjà utilisée pour les missions spatiales auxquelles nous participons et fonctionne parfaitement.

A l'horizon de 10 ans, le CubeSat sera alors vu comme un vecteur, porteur de charge utile, mis à la disposition des laboratoires d'ESEP pour valider de l'instrumentation scientifique nouvelle et innovante en lui permettant d'accélérer l'augmentation de son niveau de TRL et d'augmenter ses chances d'être sélectionnée sur des missions spatiales. Ce vecteur permettra également de faire des mesures scientifiques à faible coût notamment pour l'exposition de matériaux en orbite, ou de l'observation de la Terre et de son environnement en réseau, ou encore aller explorer des planètes comme Mars.

A.7 Le projet QB 50 OGMS-SA Cubesat mené au LISA, soutenu par ESEP

(Introduction du « Design Document File », étudiants OSAE)

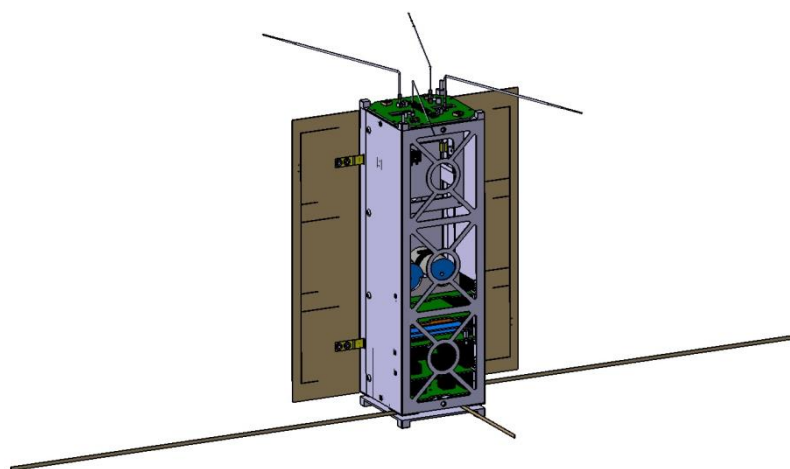
OGMS-SA is a French student-satellite project gathering several universities (Observatoire de Paris, Université Paris-Diderot, and Université Paris-Est-Créteil), and laboratories (LISA and LATMOS) and supported by LPC2E. OGMS-SA is a 3U Cubesat, and thus respects strict specifications concerning its mass (4 kg), its volume (3 liters, 10cm x 10cm x 30cm) and its interfaces. OGMS-SA stands for OutGassing Materials Study by Spectrometry Analysis, it will be dedicated to the study of the outgassing of materials in the lower thermosphere. It will also be an in-orbit demonstrator for the CRDS sensor (Cavity Ring Down Spectrometer), already used in the labs, but which never flew before.

Our satellite is part of the European constellation of 50 CubeSats constituting the QB50 project. This project, led by the Von Karmann Institute in Belgium and funded by the European Union and European Commission through the FP7 (Seventh Framework Program), aims to study key-parameters in the lower thermosphere through in-situ measurements, and also re-entry processes by comparing satellites theoretical and real trajectories.

Of all the different student teams working together in this project, the architecture of the satellite itself is designed by the OSAE (Outils et Systèmes de l'Astronomie et de l'Espace in French, Astronomical and Space-Based Engineering in English) master's degree, from the spécialité Astronomie, Astrophysique et Ingénierie Spatiale (Universités Pierre et Marie Curie, Paris-Diderot, Paris-Sud, Observatoire de Paris).

This document, written by the OSAE master's degree students, presents achievements during the Phase A and provides our preliminary requirements, concerning the functional architecture, components, budgets, interfaces, and trade-offs concerning the satellite design. The document also aims to provide a preliminary viable architecture for the satellite answering the needs previously defined.

The phase A was conducted following the completion of the mission analysis (phase 0), and consists in the feasibility study. According to the European Coordination for Space Standards (ECSS), it consists in "finalizing the expression of needs expressed in phase 0 and proposing solutions meeting the perceived needs". For many systems, we propose different solutions, and rough budgets, which will be detailed and studied further later on (planned in 2013-2014) during phase B.



Face arrière d'OGMS-SA (crédit : LISA)

A.8 Projets nanosatellite du Campus Spatial CERES

Différents projets sont d'ores et déjà recensés. Les projets sélectionnés devront veiller en priorité à l'augmentation de la maturité technologique des sous-systèmes embarqués et de la filière plateforme du Campus Spatial.

Projet EADS / Astrium Space Transportation : cette demande à la fondation de coopération scientifique PSL est fondée sur les contacts pris avec Astrium Space Transportation, via le Master OSAE, et le souhait commun de développer des projets réunissant les objectifs d'Astrium Space Transportation et les compétences des étudiants OSAE.

La liste de nanosatellites étudiants potentiels est par ailleurs vaste :

Centre de simulation d'environnement de plasmas spatiaux : Le LPC2E, laboratoire membre du LabEx ESEP, propose en collaboration avec d'autres laboratoires du campus CNRS-Université d'Orléans une initiative originale reposant sur la combinaison unique de compétences scientifiques et techniques existantes sur le campus : développement et exploitation d'instrumentation spatiale, simulation et diagnostic de l'environnement plasma, recherche en propulsion ionique, simulation de la rentrée atmosphérique. L'objectif principal de ce projet spatial étudiant est ainsi de développer un centre de simulation expérimentale en plasmas spatiaux en proposant, d'une part, de développer, tester et faire voler sur Cubesat une instrumentation de diagnostic du plasma ambiant ; d'autre part, de mettre en œuvre pour les projets Cubesat étudiants un ensemble complet de simulation de l'environnement plasma spatial, aussi bien pour les essais des instruments de diagnostic du plasma spatial que pour tester un Cubesat entier dans un environnement représentatif de celui dans lequel il devra fonctionner dans l'espace.

Ce projet s'inscrit dans le cadre du module « projet spatial » du Master « Exploration Spatiale » de l'OSUC (Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre), pour y insuffler une forte orientation instrumentation spatiale dans le cadre des activités Cubesat étudiants. Le projet sera conçu pour ouvrir de nombreuses possibilités de partenariat avec les projets spatiaux étudiants qui se développent en France et ailleurs. Ces partenariats mettront en avant l'intérêt propre des tests en ambiance plasma spatial, mais aussi l'intérêt pour les équipes porteuses de projets Cubesat d'insérer une étape réaliste et motivante, notamment pour les étudiants amenés à terminer leurs études avant que leur Cubesat ait volé.

Cubesat Martiens : la filière CubeSat peut devenir un véritable auxiliaire de l'observation in situ. La charge utile mesurera les radiations potentiellement nuisibles pour une mission martienne habitée, tout au long d'une trajectoire dite de libre retour Terre – Mars – Terre. L'enjeu du projet est de simultanément développer et de capitaliser les compétences nécessaires en astronautique et pour l'instrumentation scientifique.

Suivi photométrique de précision : de nombreux projets spatiaux assurant un suivi photométrique de précision se sont développés récemment et ont conduit à des résultats scientifiques remarquables (voir par exemple le site de CoRoT). L'espace apporte un environnement photométrique calme, contrairement aux observations au sol. Un programme de faisabilité ambitieux consiste à réaliser un suivi photométrique des étoiles les plus lumineuses. Une ouverture particulière est d'examiner les applications possibles des concepts de miroirs primaires déployables.

Détection de séismes : l'exploitation des données du satellite GOCE a mis en évidence la possibilité de détecter les ondes créées par un séisme via l'espace. Ce genre de mesures peut être développé et nécessite une couverture spatiale étendue que seule peut apporter une flotille de nanosatellites en orbite basse.

Observation de la Terre à l'USTH : le Master OSAE s'est engagé, via l'Observatoire de Paris, dans un Master international Espace & Applications proposé par l'Université des Sciences et Technologies d'Hanoi. Le campus spatial Hoa-Lac en cours de réalisation dans la banlieue d'Hanoi inclut entre autres sur le développement de nanosatellites étudiants dédiés à l'observation de la Terre.

A.9 Dimensionnement détaillé

L'analyse des besoins a conduit aux dimensionnements suivants.

Aménagement			
Campus Spatial	Cloisonnement, faux plafond	2 k€/m ²	
	Revêtement sol antistatique	200 €/m ²	
par pièce	Installation électrique	8 k€	
	Mobilier	10 k€	
	Divers	5 k€	
Salle blanche	Humidification, déshumidification	100 k€	
Equipement			
CIC, 1ère étape	Installation	2 k€	
	Stages de formation	9 k€	
	Grand écran d'affichage	5 k€	
	Jouvence matérielle	9 k€	
CIC, 2 ^{ème} étape	Serveur, routeur	4 €	
	Ecran affichage	5 k€	
	Postes de travail	8 k€	
Laboratoire électronique	Matériel	40 k€	
Banc d'essai	Enceinte	5 k€	
	Traversée électrique	1 k€	
	Pompage et jauge de pression	5 k€	
	Cryogénérateur	15 k€	
	Mécanique interne et interfaçage méca-thermique	5 k€	
	Divers	2 k€	
Fonctionnement			
Salle blanche	Maintenance	5 k€ / an	
	Pièces de rechange	5 k€ / an	

A.10 Contributeurs au projets

Adam Christiane	Ingénieure	ESEP, OP	Administration ESEP
Allain Tristan	Etudiant	OSAE	Phases B, C de OGMS-SA
Drossart Pierre	Directeur de recherche	LESIA, ESEP, OP, CNRS	Directeur d'ESEP
Grand Noël	Ingénieur au LISA	LISA, ESEP, CNRS	Chef de projet OGMS-SA
Lebreton J-Pierre	Ingénieur	ESEP	Chef de projet
Mosser Benoît	Professeur	OSAE, LESIA, ESEP, OP	Responsable pédagogique OSAE
Parisot Jérôme	Ingénieur	LESIA, ESEP, OP	Expert Banc de tests
Raimond Séverine	Ingénieure	ESEP	Chargée de médiation scientifique ESEP
Segret Boris	Ingénieur	ESEP	Ingénieur système, ESEP
Tiphène Didier	Astronome	LESIA, ESEP, OP	Directeur-adjoint LESIA
Vassin Sudagar	Ingénieur	LESIA, ESEP, OP	informatique, GIL LESIA