

PROGRAMME INTITUTS ET INITIATIVES
Appel à projet – campagne 2021
Proposition de projet de recherche doctoral (PRD)
IPhyInf - Initiative Physique des infinis

Intitulé du projet de recherche doctoral (PRD): LSST Lens

Directeur.rice de thèse porteur.euse du projet (titulaire d'une HDR) :

NOM : ASTIER **Prénom :** Pierre
Titre : Directeur de Recherche ou
e-mail : pierre.astier@in2p3.fr
Adresse professionnelle : LPNHE, T22 1^{er} étage, 4 place Jussieu, 75005 PARIS
(site, adresse, bât., bureau)

Unité de Recherche :

Intitulé : LPNHE
Code (ex. UMR xxxx) : UMR 7585

École Doctorale de rattachement de l'équipe (future école doctorale du.de la doctorant.e) : ED560-STEP'UP

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e directeur.rice de thèse (préciser le nombre de doctorant.e.s, leur année de 1^{er} inscription et la quotité d'encadrement) : 0

Co-encadrant.e :

NOM : Errard **Prénom :** Josquin
Titre : Chargé de Recherche ou **HDR**
e-mail : josquin.errard@gmail.com

Unité de Recherche :

Intitulé : APC
Code (ex. UMR xxxx) : UMR 7164

École Doctorale de rattachement : ED560-STEP'UP
Ou si ED non Alliance SU :

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e co-directeur.rice de thèse (préciser le nombre de doctorant.e.s, leur année de 1^{er} inscription et la quotité d'encadrement) : 2019, 50 %; 2018, 50 %.

Co-encadrant.e :

NOM : **Le Jeune**

Titre : Choisissez un élément : ou IR
e-mail : lejeune@apc.in2p3.fr

Prénom : **Maude**

HDR

Unité de Recherche :

Intitulé : APC
Code (ex. UMR xxxx) : UMR 7164

ED560-STEP'UP

École Doctorale de rattachement :

Ou si ED non Alliance SU :

Doctorant.e.s actuellement encadré.e.s par la.e co-directeur.rice de thèse (préciser le nombre de doctorant.e.s, leur année de 1^{er} inscription et la quotité d'encadrement) : 0

Cotutelle internationale : Non Oui, précisez Pays et Université :

Selon vous, ce projet est-il susceptible d'intéresser une autre Initiative ou un autre Institut ?

Non Oui, précisez Choisissez l'institut ou l'initiative :

Description du projet de recherche doctoral (en français ou en anglais) :

Ce texte sera diffusé en ligne : il ne doit pas excéder 3 pages et est écrit en interligne simple.

Détailler le contexte, l'objectif scientifique, la justification de l'approche scientifique ainsi que l'adéquation à l'initiative/l'Institut.

Le cas échéant, préciser le rôle de chaque encadrant ainsi que les compétences scientifiques apportées. Indiquer les publications/productions des encadrants en lien avec le projet.

Préciser le profil d'étudiant(e) recherché.

Dans la cosmologie moderne, le lentillage gravitationnel faible joue un rôle de plus en plus important, et est aujourd'hui en mesure de devenir la sonde la plus sensible de la formation des grandes structures de l'Univers et de son évolution avec le temps cosmique. Les mesures des distorsions des formes des galaxies d'arrière plan par les inhomogénéités de la matière (noire ou non) entre elles et nous permet de mesurer les propriétés statistiques de la distribution de matière dans l'univers aux très grandes échelles spatiales, et comme fonction du temps cosmique. Dans le cadre de la Relativité Générale, une fois fixée l'histoire de l'expansion, l'évolution des fluctuations de densité aux grandes échelles est prédite sans ambiguïté, et une mesure précise permet de tester la Relativité Générale aux grandes échelles, un domaine où elle n'a jamais passé de test exigeant. Dans le contexte de la relativité générale, la mesure du lentillage gravitationnel comme fonction du redshift (jusqu'à $z \sim 1$) promet aussi de délivrer les meilleures contraintes à venir sur la nature de l'énergie noire (qui cause l'accélération de l'expansion).

En pratique, le signal recherché est la distorsion des formes des galaxies par les inhomogénéités de la matière entre celles-ci et nous. Aujourd'hui, les deux premiers projets spécifiquement construits pour mesurer ce signal sont proches de leur première lumière. Euclid (un satellite de l'ESA) et LSST (un télescope grand champ en construction au Chili, sous leadership Etatsunien) visent à mesurer ce signal sur environ la moitié du ciel. Le groupe du LPNHE est lourdement engagé dans LSST (avec des contributions instrumentales et logicielles), et c'est dans ce cadre que la thèse est envisagée. En termes de volume de données, Euclid et LSST auront, sur le cisaillement gravitationnel, une puissance statistique plus de 10 fois supérieure aux projets finis et en cours.

La mesure du lentillage gravitationnel fait face à des défis instrumentaux et observationnels redoutables, et les méthodes nécessaires pour tirer parti des grands relevés à venir sont encore en développement, parce que les biais des méthodes utilisées aujourd'hui dépassent la précision attendue pour ces grands relevés à venir. Parmi ces défis, on en singularisera deux, dont la résolution est vitale pour l'exploitation complète des relevés à venir : la qualité de l'estimateur de forme des galaxies, et la mesure des distorsions de formes induites par le système d'observation, i.e. le télescope et l'atmosphère. En pratique, les distorsions du système optique sont caractérisées par la réponse impulsionnelle (appelée PSF), c'est à dire l'image d'un point lumineux, en pratique les étoiles. Concernant l'estimateur de forme des galaxies, ou plus précisément l'estimateur du cisaillement déduit de la forme de la galaxie, il s'agit d'un problème mal posé, dans la mesure où le lien entre les observables et la quantité d'intérêt ne s'exprime pas trivialement par une fonction de vraisemblance, du moins sans hypothèses réductrices et dangereuses. Les méthodes statistiques communes ne s'appliquent pas, et entraîner des statistiques empiriques sur des simulations ne peut fournir la précision recherchée parce que les hypothèses fines des simulations sont difficiles à



valider empiriquement. La communauté est maintenant engagée dans le développement d'une méthode indirecte où la relation entre la quantité d'intérêt (le cisaillement) et l'observable (les seconds moments apparents d'une galaxie) est établie empiriquement en distordant artificiellement l'image observée, de manière à simuler le signal recherché. Le nom technique de la méthode est «méta-calibration».

Une des difficultés de cette approche est son poids en calcul, et nous avons développé un raccourci numériquement efficace, et nous souhaitons le valider plus avant en termes de qualité scientifique. C'est l'un des objectifs de la thèse. Le second objectif est de raffiner la prise en compte des distorsions dues au système d'observation. Les méthodes utilisées aujourd'hui ne compensent que les termes quadropolaires, alors que les distorsions plus élevées contribuent aussi au quadropole mesuré. Des simulations montrent que c'est probablement insuffisant pour la statistique de LSST (dont nous ne connaissons pas encore la performance sur le ciel), et améliorer cet aspect de la méthode ne peut que réduire les erreurs systématiques de la mesure.

Finalement, il est indispensable de caractériser très finement la contribution du système optique aux formes des objets observés, en pratique : il faut mesurer la réponse impulsionnelle du télescope, image par image, avec typiquement une précision de l'ordre du pour mille en ce qui concerne par exemple la dimension observée d'un objet ponctuel (une étoile) et plus finement encore pour les ellipticités induites. Les senseurs d'image utilisés, des CCD, sont affectés par une non-linéarité intrinsèque de réponse : les étoiles brillantes apparaissent plus grosses (de quelques %) que les étoiles faibles. On appelle cet effet «brighter-fatter», et l'équipe LSST du LPNHE a non seulement fourni l'explication physique de ce phénomène, mais a aussi proposé la seule méthode disponible aujourd'hui pour en corriger l'effet dans les images. Il est indispensable de tenir compte de cet effet pour la mesure du cisaillement, parce que la PSF est mesurée avec des étoiles brillantes (affectées) pour interpréter la forme des galaxies (faibles et non affectées). Cette méthode de correction a une précision limitée et il est nécessaire, pour LSST, de la raffiner. L'équipe du LPNHE est lourdement engagée dans la mise au point du plan focal de LSST, et a développé des méthodes novatrices de caractérisation et de correction de la réponse des senseurs. Dans le cours de la thèse, on envisage de caractériser la performance de cette méthode de correction sur des images réelles, sans que l'on sache aujourd'hui si améliorer cette performance est envisageable dans le cadre d'une thèse. Mais si une innovation est possible, l'équipe du LPNHE est probablement la mieux positionnée pour la concrétiser.

Pour la thèse, nous souhaitons travailler sur des images réelles, autant que faire se peut, parce qu'elles sont à l'évidence plus proches de ce que LSST produira que n'importe quelle simulation. En particulier les distorsions optiques (télescope et atmosphère) et les distorsions des senseurs contiennent plus de physique que ce que les simulations proposent. Le lot de données le plus proche de ce que LSST produira est le grand relevé du Subaru (un télescope japonais de 8,2m installé à Hawaii), sur lequel l'équipe du LPNHE est engagée pour mesurer des distances à des supernovae lointaines. Nous avons acquis, avec nos collègues japonais, une bonne connaissance de l'instrument et nous maîtrisons une chaîne complète de réduction des images. Nous avons déjà collaboré avec nos collègues de l'APC sur cet estimateur auto-calibré du cisaillement et ils maîtrisent donc les enjeux scientifiques. Leur contribution essentielle au projet est d'apporter des savoir faire en méthodes de calcul avancées, indispensables à une implémentation efficace de l'estimateur.

On peut fixer de nombreux objectifs à la thèse, que nous souhaitons voir abordés dans l'ordre suivant :

- 1) Réaliser une implémentation prototype de l'estimateur de cisaillement, à valider sur des images simulées. D'abord avec des PSF simulées puis avec des PSF réelles d'images du Subaru.
- 2) Valider cette implémentation sur des séries d'images du même champ, en évaluant la



dépendance (que l'on espère nulle) de l'estimateur de cisaillement aux conditions d'observation (turbulence atmosphérique et au rapport signal sur bruit). On pourra alors vérifier aussi que les incertitudes de mesure annoncées correspondent à la dispersion empirique des mesures d'un même objet. Au cours de ce travail sur les images réelles, évaluer la qualité de la correction de l'effet «brighter-fatter est indispensable. De nouveaux développements pourraient alors s'avérer nécessaires.

3) Produire un catalogue de cisaillement d'une partie ou de l'ensemble des galaxies du relevé, pour comparaison avec les résultats publiés. En particulier, on peut évaluer les contributions dues à la modélisation imparfaite des effets instrumentaux en moyennant les différences en coordonnées instruments.

4) On peut alors penser mesurer l'ensemble des galaxies du relevé et produire les contraintes cosmologiques, et leurs incertitudes systématiques.

En termes de publication, les points 1 et 2 peuvent constituer un article d'intérêt (car il contiendrait une innovation méthodologique), ainsi que, à l'évidence, les points 3 et 4. Cette recherche s'inscrit dans le cadre des groupes de travail qui préparent la science de LSST, dans le cadre de la collaboration DESC (environ 200 membres actifs). Le sujet est déjà adopté par le groupe de travail «Weak Lensing» de DESC. Ces groupes de travail sont les forums auxquels les thésards, en particulier, présentent l'avancement de leur travaux régulièrement.

La vitesse de développement des recherches est difficile à anticiper mais un an pour chacun des points 1 et 2 paraît un volume raisonnable, et cela constituerait déjà une thèse de très bon contenu. La troisième année serait alors affectée à l'écriture de la thèse et d'un article. Les points 3 et/ou 4 pourront être abordés si le ou la doctorante complète les points précédents suffisamment rapidement.

Le thèse prendra place dans le cadre du groupe de cosmologie du LPNHE, fort d'une dizaine de permanents, dont 7 engagés sur LSST et 4 sur le relevé Subaru. Ce groupe existe depuis 20 ans et a produit, dans le domaine des distances aux supernovae, des résultats dont l'impact est important et durable, grâce en particulier à des innovations méthodologiques. Ce projet s'inscrit dans la même perspective, mais concerne la sonde cosmologique promise à dominer le champ dans la prochaine décennie.

Publications relevantes des proposants :

cosmologie : Astier et al A&A, 447 (2006). Betoule et al A&A , 568 A22 (2014)

instrumentation :

Antilogus et al, Journ. of Instrum., Vol 9 Issue 3 (2014). Guyonnet et al A&A, 575 A41 (2015), Astier et al, Journ. of Instrum., Vol 10, Issue 05 (2015). Astier et al A&A 629, A36 (2019).

Merci d'enregistrer votre fichier au format PDF et de le nommer :
«ACRONYME de l'initiative/institut - AAP 2021 - NOM Porteur.euse Projet»

Fichier envoyer simultanément par e-mail à l'ED de rattachement et au programme:
[cd_instituts et initiatives@listes.upmc.fr](mailto:cd_instituts_et_initiatives@listes.upmc.fr) avant le 20 février.