
Contribution aux exercices de prospective nationale 2020-2030

Détecteurs et instrumentation associée

GRANDES OPTIQUES POUR L'ASTRONOMIE DE DEMAIN

Auteur principal

Nom : Christophe Michel

Affiliation : Laboratoire des Matériaux Avancés - IP2I

Email et coordonnées : c.michel@lma.in2p3.fr Tel: 04 72 43 26 67

Co-auteurs (inclure aussi les collaborateurs internationaux si existants)

Le personnel du LMA

1. Informations générales

Titre : Grandes Optiques Pour l'Astronomie de Demain

Acronyme : GOPAD

Résumé

Dans cette proposition, nous détaillons la stratégie pour répondre aux besoins en grandes optiques proches de la perfection pour les prochains détecteurs d'ondes gravitationnelles et la nouvelle génération d'instruments des télescopes optiques. La production des futurs miroirs et filtres ne pourra se faire qu'avec une nouvelle machine de dépôt, hébergé au Laboratoire des Matériaux Avancés. Ce nouvel équipement unique au monde capitalisera sur l'expérience du laboratoire développée ces 20 dernières années sur la réalisation de couches minces et la métrologie.

Préciser le domaine technologique

- Autre: Détecteurs optiques

Préciser la motivation principale de recherche visée par la contribution :

- R&D Détection d'ondes gravitationnelles
- R&D Astronomie optique

2. Description des objectifs scientifiques et techniques

Le LMA est le leader mondial pour les optiques très hautes performances de grandes dimensions. Le laboratoire a acquis ses lettres de noblesse en réalisant les traitements et les caractérisations des miroirs les plus critiques de tous des détecteurs d'ondes gravitationnelles sur Terre. Ces miroirs, parfois abusivement qualifiés de parfaits, sont le résultat de 20 ans de développements afin d'avoir les pertes optiques et mécaniques les plus faibles possibles et de manière uniforme sur une grande surface (diamètre > 300 mm). Ces dernières années, le LMA s'est aussi investi avec succès dans les grandes optiques critiques pour les instruments analysant la lumière dans les grands télescopes optiques (VLT, Subaru,...). Le but pour la prochaine décennie est de capitaliser sur l'excellence acquise par le LMA et de se développer pour répondre aux nouveaux besoins optiques des grands instruments astronomiques afin de rester le laboratoire de référence pour les grandes optiques au niveau mondial.

2.1 Les optiques pour la prochaine génération de détecteurs d'ondes gravitationnelles

La construction de la prochaine génération de détecteurs d'onde gravitationnelle qui doit être 10 fois plus sensible que celle actuelle est prévue en 2025 afin d'être en opération en 2035. Ces nouveaux instruments prévoient nécessairement un allongement des bras des détecteurs (10 km pour l'europpéen Einstein Telescope et 40 km pour l'américain Cosmic Explorer) ainsi que des miroirs plus grands et plus lourds.

Pour réaliser ces nouveaux miroirs (diamètre de 70 cm, 300 kg) avec la précision demandée, aucun équipement n'existe actuellement. Une nouvelle machine de dépôt unique est donc prévue et sera détaillée dans les sections suivantes.

2.2 Les grands filtres pour les télescopes

La recherche cosmologique fait appel notamment à des télescopes optiques de plus en plus grands et plus performants. Par conséquent les optiques (filtres, lames dichroïques, lentilles...) utilisées pour transporter la lumière vers les caméras d'analyse et spectrophotomètres devront également s'adapter: les exigences en terme de transmission/réjection de la lumière seront encore plus poussés ($T > 99\%$, $R > 99\%$) et cela sur des domaines spectraux plus étendus (visible-NIR-IR). Ces spécifications conduisent à des épaisseurs de dépôts de couches minces de l'ordre de 20 μm par face, épaisseurs rarement atteintes jusqu'à aujourd'hui. De telles épaisseurs, du fait des contraintes induites, entraînent des problèmes de délamination des couches, déformées des surfaces et temps de dépôt faramineux (200 heures), ce qui est au-delà de ce que permet l'actuelle grande machine de dépôt en un seul run). Il est impératif de trouver des solutions techniques permettant de réaliser de tels composants sur des optiques de grandes dimensions (diamètre > 0.5 m) pour répondre aux besoins des scientifiques.

2.3 La stratégie de développement

Le cœur de la stratégie est donc une nouvelle machine de dépôt (acronyme TGC pour Très Grand Coater) qui sera installée dans une nouvelle salle blanche dans une extension du LMA. Ce nouveau bâtiment de l'IP2I est actuellement en discussion au sein du CNRS et de l'Université de Lyon dans le cadre du CPER (2021-2027).

Cette machine qui sera unique au monde permettra de traiter en même temps 2 grandes optiques de 70 cm de diamètre (pour garantir la symétrie indispensable des bras des détecteurs d'onde gravitationnelle) ainsi qu'un contrôle avancé des couches minces pour réaliser des fonctions optiques (filtres de couleur, anti-reflet) complexes ou avec des spécifications très contraintes.

3. Livrables associés, calendrier et budget indicatifs (1 page max. incl. figures)

3.1 La nouvelle machine de dépôt

3.1.1: Développement: La nouvelle machine de dépôt sera basée sur l'expérience du laboratoire engrangée au cours de ces 20 dernières années et le design reprendra les principes qui ont fait le succès du Grand Coater. L'objectif est de construire ce bâti en vue des nouvelles générations d'optiques avec comme spécifications:

- des optiques plus grandes: dimensions de la chambre de dépôt permettant de traiter simultanément 2 optiques de 70 cm et 300 kg
- des dépôts plus uniformes: un nouveau système planétaire sera développé (découplage des vitesses de rotation des arbres primaires et secondaires) et de nouveaux concepts de sources d'ions testés (sources ECR de Polygon Physics - Grenoble)
- des réponses spectrales plus performantes : les différentes techniques de monitoring in-situ (contrôle quartz, contrôle optique) seront associées dès la conception afin de mieux atteindre les performances spectrales requises
- un système multisources d'ions: augmenter le nombre et les performances des sources d'ions pour augmenter la vitesse de dépôt, réduire la durée totale du process et améliorer l'uniformité
- Possibilité de faire des dépôts à haute température pour améliorer les propriétés optiques et mécaniques des couches.

3.1.2: Planning: La première phase (2 ans) consistera au design de l'équipement avec en parallèle la validation des choix technologiques (type de source d'ions, contrôle optique...) en utilisant les bâtis IBS actuellement en fonctionnement au LMA. Viendra ensuite 18 mois de construction (compris durée appels d'offres) puis 18 mois d'installation, intégration, optimisation et réception. La durée totale est estimée à 5 ans et est basée sur l'expérience de la construction du Grand Coater.

3.2 Les nouveaux bancs de métrologie

Pour répondre aux dimensions et contraintes des futures optiques, les principaux bancs de métrologie du laboratoire devront être mis à jour. Le principe de fonctionnement restera le même mais toutes les tables de support, les montures et les moteurs pour les déplacements devront être changés pour augmenter leurs distances de déplacement et le poids à supporter.

3.3 Budget et financement

3.31: Budget TGC: Le budget total peut être estimé à 5 M€, principalement de l'investissement (4 M€) auquel on ajoute 200 k€ de consommables et des ressources humaines (2 ans d'ingénieur développeur contrôle commande + 1 an de technicien pour la construction et 1 an de post doc).

Dans le cadre du contrat CPER 2021-2027 une demande de financement a été déposée par l'IP2I pour:

- une extension de la salle blanche du bâtiment VIRGO afin d'accueillir un nouveau grand bâti de dépôt (le TGC) et ses périphériques associés (banc de nettoyage et de métrologies)
- la construction d'un nouveau grand bâti de dépôt IBS (le TGC).

3.32: Budget Métrologie:

La mise à jours des outils de métrologie est estimé à 1.1 M€.

4. Impact

Depuis la découverte des ondes gravitationnelles par la collaboration VIRGO/LIGO le réputation du LMA s'est élargie au-delà de cette thématique. Le laboratoire a déjà produit des optiques pour plusieurs expériences d'astronomie (DKIST, PFS, 4MOST, ESPRESSO) ou instituts de recherche (CEA, CNES) pour répondre à leur demandes d'optiques spécifiques qui ne trouvaient pas de réponses satisfaisantes chez les industriels du secteur.

Les performances des optiques réalisées pour ces expériences ont permis au LMA d'être maintenant sollicité pour de nouveaux projets mais les performances des équipements actuels (Grand Coater + métrologie) sont aux limites pour ces nouvelles exigences (optiques plus grandes, couches très épaisses...). La construction d'un nouveau bâti de dépôt plus grand et plus performant permettra de répondre aux besoins des scientifiques dans leur quête de connaissances de l'univers (astronomie optique, astronomie gravitationnelle, astronomie multi-messager...). Il permettra au LMA de conserver son leadership dans le domaine du traitement des optiques hautes performances de grandes dimensions.

Avec ces nouveaux équipements, le LMA sera le seul laboratoire capable de répondre aux demandes les plus exigeantes des 20 prochaines années en termes de grandes optiques de précision pour les grandes infrastructures de recherche en astronomie. Ce sont des projets à très forte visibilité et qui permettront de répondre aux grandes énigmes de l'univers (nature de la gravité, origine de la matière noire, énergie noire).

Le projet s'inscrit parfaitement dans le tissu local avec par exemple le soutien de l'IDEX de Lyon et la région sur le développement des grands substrats en saphir pour les futurs détecteurs d'onde gravitationnelle. Le but étant de créer un pôle de niveau mondial pour la fourniture des grandes optiques, un domaine à très forte valeur ajoutée.

Nous travaillons de préférence avec des entreprises locales et nationales. Par exemple la start up Polygon Physics à Grenoble afin de développer son concept de sources d'ions ECR au marché des bâtis IBS ou bien l'entreprise de chaudronnerie / salle blanche SDMS (Isère) pour la fabrication de l'enceinte de dépôt.