

AGIR-POLE Edition 2015

Alpes Grenoble Innovation Recherche

Document de soumission

Date limite de dépôt : Lundi 15 décembre 2014 à 14h00

Téléchargement : [Site web](#)

Suivi administratif : AGIR@grenoble-univ.fr

Responsable scientifique (Nom, Prénom)	STUTZ Anne
Laboratoire du porteur scientifique	LPSC
Laboratoire(s) ou équipe(s) partenaire(s)	LAPP
Titre du projet	STEREO Sodium Light
Acronyme du projet	STEREO-SL
Mots-clés (5 max.)	Neutrino stérile, oscillation de neutrino

Pôle de recherche concerné (cocher un seul pôle)	<input type="checkbox"/>	CBS
	<input type="checkbox"/>	MSTIC
	<input checked="" type="checkbox"/>	PAGE
	<input type="checkbox"/>	PEM
	<input type="checkbox"/>	SJPETSG
	<input type="checkbox"/>	ALLSHCS

Ce projet concerne un autre pôle recherche (oui / non)	non
Si oui, préciser lequel	

Avis et signature du directeur du laboratoire du porteur scientifique	<i>Avis favorable</i>	Pour le Directeur du LPSC et par Délégation la Responsable Administrative <i>Colette</i> Colette DESLORIEUX
---	-----------------------	---

Dispositif financier : trois formules exclusives

Le porteur peut choisir selon son pôle un type de financement parmi les packs suivants. Cocher la demande correspondante :

X	Pack 1	Le financement couvrira des crédits de fonctionnement ou d'investissement (pas de masse salariale)
	Pack 2	Contrat doctoral + budget d'accompagnement
	Pack 3 Pôle MSTIC uniquement	Contrat post-doctoral (octobre 2015 à septembre 2016) + budget d'accompagnement

Dossier scientifique : STEREO Sodium Light

- **Description du projet et des résultats attendus**

Contexte scientifique

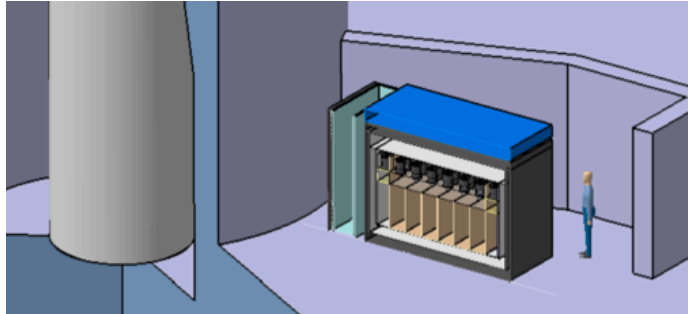
La découverte des oscillations de neutrinos, c'est-à-dire leur transformation d'une saveur à une autre, est un résultat majeur de ces dernières années en physique des particules, car elle a permis de démontrer que les neutrinos avaient des masses non nulles. Un travail récent publié par le CEA-Irfu (G. Mention et al., Phys. Rev. D83 (2011) 073006) a révélé une anomalie dans la détection des neutrinos de réacteurs suggérant l'existence d'un nouveau type de neutrino, le neutrino stérile. Ce nouveau neutrino pourrait alors n'être observé que par son mélange avec les trois neutrinos connus. Si elle est prouvée, l'existence d'un neutrino stérile serait une découverte majeure, avec un fort impact en physique des particules et en cosmologie. La motivation du projet STEREO est la recherche de cette particule par la mise en évidence d'une oscillation de neutrinos à très courte distance auprès du réacteur de recherche de l'ILL (Institut Laue Langevin Grenoble).

Le point de départ de l'hypothèse du neutrino stérile est une réévaluation des spectres d'émission des neutrinos émis par la fission des isotopes de l'uranium et du plutonium conduisant à une augmentation de quelques pour cent du flux de neutrinos émis par un réacteur. Une nouvelle analyse des 19 expériences publiées sur les neutrinos de réacteurs à courte distance (10-100 m) conduit à un déficit moyen de 6% par rapport à cette nouvelle prédiction. Une mesure précise effectuée récemment à une distance de 500 m confirme ce déficit. C'est ce qu'on appelle l'anomalie des neutrinos de réacteur, qui pourrait s'expliquer par l'existence d'un nouvel état du neutrino. Cette hypothèse est renforcée par une anomalie similaire dans la détection des neutrinos issus de sources bêta intenses. Les paramètres de mélange les plus probables sont $\sin^2(2\theta) = 0,17 \pm 0,04$ et $\Delta m^2 = 2,3 \pm 0,1 \text{ eV}^2$. Ils correspondent à une longueur d'oscillation de l'ordre du mètre pour les antineutrinos de quelques MeV émis par les réacteurs.

L'objectif de l'expérience STEREO est la recherche du neutrino stérile par l'observation de cette oscillation auprès du réacteur de recherche de l'ILL. Le principe de détection des antineutrinos est la désintégration bêta inverse (IBD). La cible du détecteur est un scintillateur dopé au Gd afin de signer la capture du neutron par la cascade de gammas associée (8 MeV). Le volume est segmenté en 6 cellules de 0.9 m x 0.9 m x 0.4 m alignées dans la direction du cœur du réacteur et entourées par une couronne externe remplie d'un scintillateur liquide non dopé permettant de détecter les gammas qui s'échappent. La signature de l'oscillation est une diminution du nombre d'interactions d'antineutrinos

variable selon l'énergie des neutrinos et la distance du cœur à laquelle ils sont détectés. Elle sera pleinement exploitée par l'analyse de la forme du spectre détecté dans les différences cellulaires.

Le site de l'ILL combine les avantages d'un cœur très compact (<1 m), d'un combustible hautement enrichi en ^{235}U , ce qui supprime les effets d'évolution du combustible sur la forme du spectre émis, et d'un accès à une très courte distance du cœur du réacteur (9 m).



Avec un contour d'exclusion couvrant entièrement le domaine d'existence du neutrino stérile avec un niveau de confiance de 99%, STEREO est une expérience qui offre un fort potentiel de découverte.

Situation du projet dans le contexte local national et international

La mise en évidence d'un déficit moyen du flux de neutrinos détectés à courte distance (10-100m) d'un réacteur par rapport aux prédictions a suscité un regain d'intérêt et d'activité dans la thématique des neutrinos stériles. Un livre blanc rédigé début 2012 par l'ensemble des physiciens travaillant dans le domaine présente les aspects théoriques et expérimentaux liés aux neutrinos stériles. Une quinzaine de projets expérimentaux susceptibles de débusquer ces neutrinos stériles ont été présentés. Dans le secteur des neutrinos électroniques, ils se répartissent en deux classes : les expériences auprès de réacteurs et les expériences avec sources. Parmi les expériences auprès de réacteur, STEREO est en compétition directe avec les projets à très courtes distances : DANSS (Russie), NEUTRINO4 (Russie), SOLID (UK-France-Belgique), un projet Coréen et le projet US PROSPECT. Les quatre premiers projets ont la même échéance temporelle que STEREO avec une installation prévue en 2015. STEREO et NEUTRINO4 utilisent tous deux une segmentation optimisée à la taille de la source et une technique éprouvée (liquide scintillant dopé au Gd) tandis que les autres projets utilisent une segmentation plus fine avec une technique plus innovante, mais plus risquée pour ce type de détection. La seconde classe d'expériences concerne les expériences avec sources de neutrino intense. Le principe est d'introduire une source bêta intense, à l'intérieur ou proche d'un des grands détecteurs de neutrino tels que Borexino ou Kamland. Les échéances en temps sont les mêmes que pour STEREO. Les avantages du réacteur de l'ILL, l'implication de son personnel technique et physicien, la proximité et la synergie avec le LPSC sont des atouts majeurs pour ce projet et lui donne une grande visibilité locale. La synergie de 2 laboratoires partie prenante du labex ENIGMASS (LPSC et LAPP), est également un atout important, tout comme la très grande expérience dans la physique des neutrinos de réacteur de tous les partenaires.

Le calendrier présenté pour l'installation de l'expérience et la sensibilité de la mesure font de STEREO une expérience très compétitive à fort potentiel de découverte.

Objectif du projet

Le programme scientifique de STEREO concerne la conception, la fabrication et la mise en oeuvre d'un détecteur d'antineutrinos à courte distance du réacteur de recherche de l'ILL. Les premières pièces du blindage ont été mises en place dès l'été 2014. L'installation se poursuivra durant l'année 2015. La prise de données est prévue pour début 2016, et doit durer deux ans.

L'essentiel des moyens nécessaires à la réalisation des détecteurs et à l'aménagement du site a été obtenu suite à l'appel à projets blanc de l'ANR édition 2013. Le dispositif de calibration absolue en énergie de l'expérience à base de sources radioactives est la responsabilité du LAPP. Cependant la difficulté de ces mesures ne permettra pas un suivi très fréquent du détecteur. L'objectif de cette demande est de développer un système d'injection de lumière qui peut être pris en charge par le LPSC et d'adjoindre au dispositif de calibration un système innovant constitué d'une source de Sodium-22 et d'un cristal scintillant de LYSO qui peut être pris en charge par le LAPP. Ces deux systèmes feront

partie du dispositif de calibration et de monitoring du détecteur. Le financement de ces deux dispositifs n'a pas été demandé lors de l'appel à projets de l'ANR et constitue l'objet de cette demande.

Programme scientifique

Afin de conserver une bonne sensibilité à l'amplitude et à la phase de l'oscillation, le détecteur STEREO doit disposer d'une bonne résolution en énergie et d'une bonne homogénéité entre les différentes cellules de détection. La collection de lumière dans le détecteur a été optimisée pour atteindre une résolution en énergie inférieure à 10% pour un positron de 2 MeV. À cette énergie, la résolution est dominée par les fuites des gammas d'annihilation du positron bien que la géométrie du détecteur ait été optimisée pour les réduire et limiter les effets systématiques entre cellules.

Le dispositif de calibration du détecteur doit permettre de définir l'échelle d'énergie pour les positrons, neutrons et gammas et d'estimer l'efficacité de détection de la réaction bêta inverse. L'incertitude absolue sur l'échelle d'énergie doit être inférieure à 2% tandis que l'incertitude relative entre les cellules doit être inférieure à 1%. L'efficacité de détection doit être connue à mieux que 2% et l'efficacité relative entre les différentes cellules du détecteur doit être connue à mieux que 1%.

Le dispositif de calibration ne peut pas permettre de calibrer le détecteur dans les mêmes conditions que le signal IBD ou le bruit de fond. Il n'est en effet pas possible de déployer des sources de positrons à l'intérieur du détecteur ni d'obtenir des sources de neutrons de quelques dizaines de keV correspondant à l'énergie typique du neutron issu de l'IBD. Il est également difficile de s'affranchir des effets géométriques inhérents au processus de calibration. Pour connaître la réponse du détecteur à l'IBD et aux différentes sources de bruit de fond, il est donc nécessaire de faire appel à la simulation. Le rôle de la calibration est alors de fournir les informations permettant de valider cette simulation avec la précision requise. Pour cela, des sources radioactives gammas et neutrons et des sources de lumière en différents points du détecteur seront utilisées.

Les sources gamma permettront d'étudier la réponse du scintillateur (cible et couronne externe) pour des gammas d'énergies comprises entre 500 keV et 5 MeV. Une source neutron d'Am-Be sera utilisée pour les mesures d'efficacité neutron. Le dispositif de circulation des sources sera triple : un système de circulation automatique autour de la cuve du détecteur pour la mesure d'échelle en énergie de la réponse du détecteur, un dispositif de transport sous le détecteur pour l'inter calibration de l'efficacité neutron entre cellules et enfin une introduction manuelle de sources à l'intérieur du volume de détection à l'aide de tubes dédiés pour l'efficacité neutron absolue. Ce concept a été validé par des simulations Geant4, il permet une calibration globale de tous les paramètres intervenant dans la réponse du détecteur tels que le quenching dans le scintillateur, la non-uniformité géométrique des dépôts d'énergie, les paramètres optiques du scintillateur et des parois, la réponse des photomultiplicateurs et de l'électronique.

Afin de déconvoluer les différents effets il est important de connaître où l'énergie est déposée dans le volume de détection. C'est pourquoi il a été décidé de développer un dispositif à base d'une source de ^{22}Na et d'un cristal de LYSO. En sélectionnant la direction d'un des deux gammas issus de l'annihilation du positron émis par le ^{22}Na , ce dispositif permettra de limiter les effets géométriques associés à la détection de l'autre gamma dans le détecteur. L'ensemble étant suffisamment compact pour être installé sur le dispositif de circulation des sources, il permettra de mesurer avec précision la dépendance de la résolution de reconstruction de l'énergie (et son biais) en fonction de la distance entre les dépôts d'énergie et les PM pour toutes les cellules du détecteur. Cette dépendance (5% attendus) est une conséquence de la propagation imparfaite de la lumière.

En principe, le détecteur peut être entièrement calibré avec les sources radioactives, mais certains paramètres peuvent varier sur une échelle de temps inférieure à celle des runs de calibration avec source. C'est par exemple le cas pour les photomultiplicateurs (PM) qui sont sensibles à la température et au champ magnétique. Il est donc important de disposer d'un suivi fréquent de ces paramètres. Dans le cas de STEREO, ce suivi est d'autant plus crucial que l'expérience voisine dispose d'un aimant de forte intensité pouvant perturber le fonctionnement des PM malgré la présence d'un blindage

approprié. Le système d'injection de lumière permettra de mesurer et de contrôler fréquemment ces effets. Il permettra également d'apporter des informations pour valider la simulation du point de vue de la collection de lumière indépendamment des effets associés aux dépôts d'énergie dans le scintillateur.

La conception et la réalisation du dispositif d'injection de lumière constituent la première partie de cette demande. La réalisation du système de collimation des gammas issus d'une source de Na22 en est la seconde partie. Les programmes de simulation, d'acquisition de données, et d'analyse relatifs à ces dispositifs seront développés en parallèle et intégrés à la stratégie globale de calibration et de monitoring du détecteur STEREO.

Méthodologie : système d'injection de lumière

Le système d'injection de lumière a pour but premier la mesure du gain des photomultiplicateurs et de chaque voie d'électronique ainsi que le suivi des propriétés optiques dans les différentes cellules de détection.

La lumière sera guidée en des points précis à l'intérieur du détecteur à l'aide de fibres optiques. Une boule diffusante sera positionnée à l'extrémité de chaque fibre afin d'assurer une émission de lumière isotrope. Le générateur d'impulsions lumineuses, situé à l'extérieur du détecteur sera constitué de diodes LED. Des faisceaux de fibres optiques achemineront la lumière depuis le générateur externe vers les fibres optiques internes grâce à des connecteurs optiques étanches situés sur le couvercle du détecteur.

La dynamique de la lumière injectée doit couvrir une gamme allant de 1 photoélectron à quelques centaines de photoélectrons par PM. Une diode LED sera dédiée à la génération d'impulsion de très faible amplitude permettant l'acquisition du spectre d'électron unique pour chacune des voies. Ce spectre permettra d'obtenir la réponse du détecteur indépendamment de la génération et de la propagation de la lumière, cette mesure étant uniquement sensible à la multiplication dans le PM et à l'électronique de chacune des voies. Quatre autres LED éclairées une par une ou en coïncidence, fourniront une source de lumière d'intensité variable qui permettra de vérifier la stabilité du détecteur et sa linéarité en prenant en compte l'efficacité de collection du PM et la propagation de la lumière. L'intensité et la séquence de commande des LED seront ajustées pour permettre d'explorer toute la dynamique de réponse des PM.

En déployant des fibres dont l'extrémité se situera à différentes hauteurs dans les cellules, il sera possible de valider la simulation de la propagation de lumière et de contrôler sa stabilité. Pour des raisons de coût et de simplicité, les différentes fibres ne seront pas éclairées indépendamment les unes des autres, mais seront regroupées sur un nombre réduit de boîtiers de distribution de lumière. Chaque boîtier sera piloté indépendamment des autres à l'aide d'une carte électronique dédiée. Le nombre de boîtiers sera au minimum de quatre ce qui correspond au minimum à un boîtier par hauteur testée et un boîtier pour le détecteur veto. Chaque boîtier regroupera en moyenne 12 fibres qui seront donc éclairées simultanément. Chaque boîtier disposera de son propre dispositif de génération de lumière à base des 6 LED décrites précédemment et d'un dispositif de contrôle à base d'une diode PIN et d'un PM de référence.

Une carte électronique à base de FPGA et de DAC sera conçue pour configurer les signaux de commande des LED dont la séquence aura été transmise par l'utilisateur via la carte Trigger. Cette carte, au format μ TCA, sera intégrée à l'ensemble des cartes permettant l'acquisition des données de l'expérience. L'interface entre les différentes cartes devra être développée ainsi que le programme d'acquisition de données spécifiques pour ces runs.

Méthodologie : Système de collimation des gammas avec une source de Sodium

Les études de simulation ont montré qu'il est possible dans la plupart des cas de calibrer le détecteur STEREO à l'aide de sources positionnées à l'extérieur de la cuve d'acier contenant les 6 cellules

cibles et leur couronne externe. Ceci permet de limiter aux calibrations neutron l'introduction de sources dans les volumes de scintillateur.

L'utilisation de sources radioactives gammas non-collimées donne des dépôts d'énergie assez distribués selon la coordonnée verticale Z. Comme il est important de vérifier avec des sources gamma la réponse en énergie des cellules en fonction de Z, un dispositif de collimation des gammas est envisagé. Un tel système de collimation a été imaginé à l'aide d'une source de ^{22}Na et d'un cristal scintillant (LYSO). La source émet un positron dont un des gammas d'annihilation doit être détecté dans le cristal pour définir un déclenchement sélectionnant une direction mieux définie en Z pour le second gamma émis dos-à-dos avec le premier. L'effet de collimation résultant diminue le RMS en Z des dépôts d'énergie de 20 à 12 cm, permettant une mesure très précise de la dépendance en Z. Ce système sera intégré au système de déclenchement prévu pour les calibrations et les données seront traitées par les programmes d'analyse automatique mentionnés plus haut.

Le dispositif mécanique qui permet de positionner les sources à la périphérie externe de la cuve n'était pas conçu pour effectuer des déplacements verticaux (en Z), il faut donc prévoir un mouvement selon cette coordonnée. Ce mouvement supplémentaire requiert des modifications du design mécanique et de l'automatisme.

Résultats attendus

Le développement des systèmes demandés dans le cadre de cet appel à projets doit être prêt pour une installation sur site à la fin de l'année 2015. Ces systèmes devront être pleinement opérationnels dès l'intégration des différents éléments du détecteur à l'automne 2015, afin de garantir le bon fonctionnement du détecteur avant son installation à l'ILL et son remplissage avec le liquide scintillant. Le dispositif d'injection de lumière constituera le premier niveau de contrôle de la qualité de la prise de données. Le dispositif de calibration avec source de Sodium-22 permettra d'affiner les simulations de la réponse du détecteur et ainsi réduire les erreurs systématiques des résultats de l'expérience.

Échéancier

Finalisation des études et test sur prototype : printemps 2015

Réalisation : printemps-été 2015

Intégration des fibres internes dans le détecteur : automne 2015

Mise en œuvre des dispositifs de calibration avec sources extérieures au détecteur : automne 2015

Mise en service détecteur sans scintillateur : fin 2015

Installation de l'ensemble du détecteur sur site à l'ILL : début 2016

Prise de données neutrino : printemps 2016

Personnels impliqués

Physiciens LPSC: J. Lamblin (MCF, 20%), V. Hélaine (Postdoc ENIGMASS 20%), F. Montanet (Pr, 20%), J.S. Réal (DR, 20%), A. Stutz (CR, 20%)

Physiciens LAPP : P. Del Amo Sanchez (MCF, 20%), W. Elkanawati (Postdoc, 20%), L. Manzanillas (Thésard, 20%), H. Pessard (DR, 20%)

Service Mécanique LAPP : G. Deleglise (IR, 20%), I. Monteiro (AI, 20%), F. Peltier (AI, 20%)

Service Electronique LAPP : S. Vilalte (IE, 10%)

Service Détecteur et Instrumentation LPSC: M. Heusch (IE, 22%)

Service Electronique LPSC: G. Bosson (IE 15%), J. Bouvier (IE 20%), C. Li (Postdoc 20%)

Partenariat

Cette demande concerne un partenariat entre deux laboratoires de l'UGA, le LPSC et le LAPP qui sont également partie prenante du Labex ENIGMASS. Ces 2 laboratoires ont la responsabilité de la calibration du détecteur STEREO, qui est un point clé de l'expérience. Les deux équipes travaillent en synergie pour définir la stratégie globale de calibration et mettre au point les programmes de simulation, d'acquisition de données, et d'analyse associés.

Cette demande se situe aussi dans le cadre du projet STEREO dont les partenaires sont cités ci-dessous. Outre la très grande expérience dans la physique des neutrinos de réacteur de tous les partenaires, on notera la synergie autour de ce projet de 2 laboratoires Grenoblois l'ILL et le LPSC et de 2 laboratoires du Labex ENIGMASS : le LAPP et le LPSC.

- LPSC - Grenoble : Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie
- ILL - Grenoble : Institut Laue Langevin
- LAPP - Annecy : Laboratoire d'Annecy-le-Vieux de Physique des Particules
- CEA/Irfu - Saclay : Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers
- MPIK – Heidelberg : Max Planck Institut fur KernPhysik
- Université de Casablanca

Utilisation des crédits demandés

Système d'injection de lumière		Système de collimation gamma	
Fibres internes téflonnées + passages étanches	9 660 €	Cristal scintillant (LYSO)	800 €
Faisceaux de fibres externes	6 400 €	Source Na22	3 070 €
Boitiers LED + PIN	3 000 €	Photomultiplicateur + base	1 400 €
Carte commande LED μ TCA (X2)	6 600 €	Mécanique mouvement source	4 600 €
		Asservissement position	3 000 €
TOTAL 1	25 660 €	TOTAL 2	12 870 €
TOTAL : 38 530 €			

- **Court CV du coordinateur du projet** (1 page maximum, avec 5 publications majeures récentes)

STUTZ Anne

50 years old

Curriculum:

1989 Ph.D in Physics, Université Joseph Fourier, Grenoble « Conception by simulation and Realisation of an antineutrinos detector ».

1986 Master (Diplôme d'Etude Approfondie) in Physics specialty Measurements and Instrumentation, Université Joseph Fourier, Grenoble.

1986 Engineering Degree from ENSIEG (INPG), Grenoble, option Nuclear and Energy Engineering.

Present position: Researcher permanent position at 'Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie' - CNRS Grenoble. Leader of the Neutrino group.

Professional experience:

2013-	STEREO Experiment: Search for sterile neutrino at the ILL reactor.
2005-2013	Pierre Auger Experiment: Study of cosmic rays at ultra high energy. R&D CODALEMA: Radio detection of cosmic rays at ultra high energy.
2002-2005	EUSO Project: Study of cosmic rays at ultra high energy with a space-based detector.
1993-2002	MUNU Experiment: Measurement of the neutrino magnetic moment at the Bugey Nuclear Reactor. R&D Solar Neutrinos: LENS, Super-Munu, Indium.
1990-1996	BUGEY 3 Experiment: Search for neutrino oscillation at the Bugey Nuclear Reactor.

List of publications

Five significant publications over the past five years

Muons in air showers at the Pierre Auger Observatory: measurement of atmospheric production depth. The Pierre Auger Collaboration, Physical Review D (2014) 012012

The measurement of the energy spectrum of cosmic rays above 3.107 eV with the Pierre Auger Observatory, The Pierre Auger Collaboration, ICRC 2013

Ultra-High Energy neutrinos at the Pierre Auger Observatory, Abreu P. et al , Advances in High Energy Physics, 2013 (2013) 708680

Measurement of the proton-air cross-section at $\sqrt{s}=57 \text{ TeV}$ with the Pierre Auger Observatory, Abreu P. et al , Physical Review Letters, 109 (2012) 062002

Full Simulation of Space-Based Extensive Air Showers Detectors with ESAF, Bérat C. et al., Astroparticle Physics, 33 (2010) 221-247