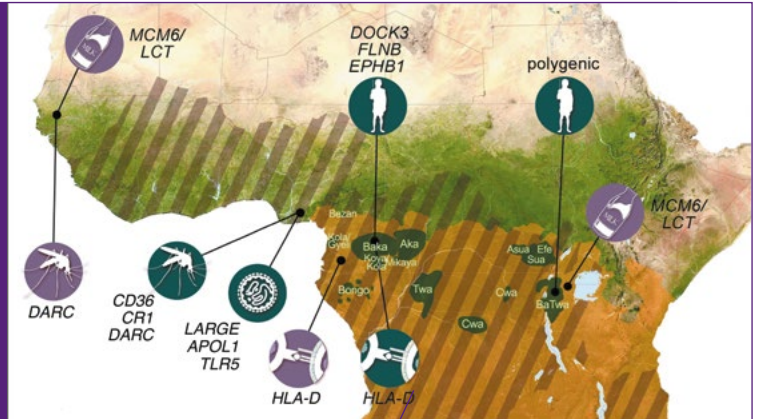


AGRHUM

Populations humaines, changements de mode de vie, d'habitat, et processus d'adaptation génétique à l'environnement

L'étude de l'adaptation des espèces à leur milieu permet d'apporter des éclairages sur les mécanismes d'adaptation spécifiques mis en œuvre lors de changements rapides de pressions environnementales. Cependant, l'étendue et la rapidité de l'adaptation à de nouveaux environnements restent encore largement méconnues. Le projet AGRHUM s'inscrit dans cette perspective et vise à accroître la compréhension des processus d'adaptation des populations humaines dont les modes de vie et les systèmes écologiques diffèrent.



Groupes de chasseurs-cueilleurs de l'Afrique centrale et adaptation à l'environnement

Afin d'évaluer l'impact de la transition du stade de chasseur-cueilleur vers celui d'agriculteur sur les mécanismes de sélection et d'adaptation, le projet AGRHUM a porté sur l'Afrique centrale, une région abritant à la fois les plus grandes populations de chasseurs-cueilleurs et des populations sédentaires qui pratiquent l'agriculture depuis près de 5 000 ans. La partie codante du génome d'un large panel d'individus, issus de différentes populations de chasseurs-cueilleurs et d'agriculteurs, a été séquencée. Son analyse a permis de déterminer les conséquences de l'histoire et du mode de vie des populations sur l'efficacité de la sélection purificatrice (élimination des mutations délétères). En parallèle, plusieurs approches ont été développées pour déterminer le rôle des différents mécanismes d'adaptation biologique à l'environnement, tels que les modèles classiques de sélection positive, ou d'autres modèles comme l'adaptation polygénique ou le métagénome adaptatif. L'analyse conjointe de ces résultats a permis d'évaluer la manière dont les changements rapides

d'environnement influencent la valeur adaptative et l'efficacité de la sélection. Ces analyses ont mis en évidence une histoire démographique contrastée entre populations de chasseurs-cueilleurs et d'agriculteurs d'Afrique, avec des changements très importants de taille efficace tout au long de leur histoire. Malgré ce passé contrasté, ces groupes de populations conservent la même capacité à purger les mutations délétères et partagent ainsi une même efficacité en terme de sélection. Le projet a aussi permis d'identifier des fonctions biologiques qui, en étant notamment impliquées dans la défense de l'homme contre les pathogènes, ont contribué à l'adaptation et à la survie de ces populations à leur environnement. Les résultats de ce projet ont fait l'objet de différentes publications de résultats et d'articles dans des revues telles que *Science*, *Nature Ecology & Evolution*, *Molecular Biology & Evolution* ou *PNAS*.



PERSPECTIVES

Le projet AGRHUM ouvre des perspectives intéressantes sur la biodiversité humaine et l'adaptation des populations à leur environnement, en particulier s'il est pathogénique. Elles nécessitent désormais un travail de terrain tant au niveau anthropologique qu'épidémiologique. Ce projet met également à disposition de nouveaux outils méthodologiques pour l'étude des différentes formes d'adaptation génétique d'autres espèces.

AGRHUM

Étude de l'adaptation génétique aux changements environnementaux rapides : l'agriculture et le modèle humain

Programme ANR :
Programme Générique CE2014

Édition, durée du projet :
2014, 48 mois

Subvention ANR :
493 000 €

Coordinateur :
Lluís Quintana-Murci
quintana@pasteur.fr
research.pasteur.fr/en/heg

Publication ou contribution principale :
Lopez et al. 2018. *Nature Ecology & Evolution* 2(4): 721-730

Partenaires :
Institut Pasteur, CNRS, Paris ;
CNRS, Université Joseph Fourier, Grenoble ;
CNRS, MNHN, Paris

FRIPON

Un réseau de détection unique pour observer les chutes des météorites, les retrouver et déterminer leur provenance

Les météorites sont des échantillons du Système solaire qui permettent d'étudier sa formation. Le réseau de 100 caméras mis en place en France par le projet ANR FRIPON a pour objectif d'augmenter le nombre de météorites retrouvées avant qu'elles ne soient altérées (une tous les deux ans contre une tous les dix ans au XIX^e siècle) et de déterminer leur provenance. À terme, il s'agit d'associer les familles de météorites connues (une centaine environ) à des astéroïdes ou des familles d'astéroïdes.



© FRIPON

Caméra FRIPON à l'Observatoire du Pic du Midi vue au lever du soleil

Le réseau de caméras FRIPON surveille le ciel en continu pour détecter les météores, phénomènes signalant la traversée de l'atmosphère par des fragments de matière extraterrestre de taille centimétrique ou plus – que ceux-ci atteignent le sol ou non. Il capitalise sur la baisse du prix des caméras de vidéosurveillance fisheye et des ordinateurs portables. Ceci a permis de développer des stations d'observation relativement peu coûteuses (1,5 K€) et de mailler l'ensemble du territoire français. FRIPON est ainsi le réseau le plus dense au monde pour une surface aussi importante. La mesure de la vitesse des météores est essentielle à la reconstitution des orbites et des régions sources. FRIPON tire avantage de l'émission d'un signal continu par le radar de surveillance militaire GRAVES, signal qui est réfléchi par les bolides et permet de déterminer leur vitesse grâce à l'effet Doppler. Il s'agit là d'une technologie totalement nouvelle permettant de détecter et de traiter les données au fil de l'eau. Il a été ainsi facile

d'ajouter des caméras étrangères dont les données sont traitées en France. FRIPON est maintenant l'équipe leader en Europe sur le sujet des météores, au même niveau que les équipes américaines et australiennes dans leurs pays respectifs. Depuis la mise en service progressive du réseau FRIPON, plus de 4 000 orbites ont été observées : il devient possible de scruter les régions source et les premières campagnes test de recherche sur le terrain ont été effectuées. Pour accompagner FRIPON, le programme de science participative Vigie-Ciel a été mis en place grâce à un financement des Investissements d'Avenir. Son objectif est d'impliquer les publics, notamment à travers la recherche au sol de météorites. Vigie-Ciel (www.vigie-ciel.org), porté par le Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), s'appuie sur un réseau de partenaires régionaux utilisant un ensemble d'outils co-construits pour former des médiateurs dans leur région afin de sensibiliser les citoyens et les inviter à participer.



PERSPECTIVES

Outre la mise en œuvre de Vigie-Ciel, le réseau FRIPON se développe dans deux directions. Au niveau de la France, d'une part, une candidature est en cours pour devenir Service national d'Observation. Il s'étend, d'autre part, progressivement à l'Europe, avec plus de 50 caméras déjà installées dans 9 autres pays.

FRIPON

Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network

Programme ANR :

Blanc SIMI 5

Édition, durée du projet :

2013, 54 mois

Subvention ANR : 543 280 €

Coordinateur :

Jean-François Colas
colas@imcce.fr
www.fripon.org

Publication ou contribution principale :

Jeanne et al. (2019) Calibration of fish-eye lens and error estimation on fireball trajectories. Application to the FRIPON network.
Sous presse, Astronomy and Astrophysics

Partenaires :

IMCCE MNHN PSUD/IDES
CNRS_LAM CNRS_CEREGE

Mésomobile, le centre-ouest mésoaméricain : une région clé pour comprendre les processus migratoires liés à l'émergence de l'État tarasque

Le projet Mésomobile s'est intéressé aux phénomènes migratoires qui conduisent à l'émergence d'entités culturelles majeures dans le centre-ouest de la Mésoamérique préhispanique, telle que l'État tarasque. Pour comprendre la nature de ces processus, quatre indicateurs ont été interrogés conjointement : les dynamiques territoriales, les marqueurs bioculturels, les systèmes techniques et la circulation des biens.



© V. Darras

Plaine alluviale du Lerma, Michoacan

Dans la région étudiée, l'archéologie observe des changements perçus comme rapides ainsi que des transformations dans la culture matérielle (architecture, pratiques funéraires, systèmes techniques, accès aux ressources). Pour comprendre la nature des processus en jeu, le projet Mésomobile a sélectionné une région stratégique du nord du Michoacan, qui bénéficie de plus de trente ans d'acquis scientifiques. L'accent a été mis sur les périodes de transition comme des phases de mutation rapide : la fin du Préclassique (100 av. J.-C.-250 ap. J.-C.), le début du Postclassique ancien (850/900 ap. J.-C.), et sa transition au Postclassique récent (à partir de 1 200 ap. J.-C.). Dans ce cadre, les mécanismes du changement social et politique en lien avec les phénomènes migratoires, et l'évaluation des capacités d'adaptation des populations pour organiser leurs habitats et leurs activités économiques, ont été appréhendés grâce à des outils performants : prospections pédestres et géophysiques, systèmes d'information géographique et d'images satellite, télémétrie LIDAR, bases

de données, chaînes opératoires, caractéristiques physico-chimiques des matériaux (céramique, obsidienne, etc.), analyses isotopiques et variations morphométriques des dents et de la voûte crânienne.

Grâce à la modélisation bayésienne des datations au carbone 14, la perception temporelle des mutations a été affinée. La base de données en ligne qui réunit près de sept cents sites découverts dans le cadre de différents programmes, a permis de visualiser les fluctuations de peuplement dans le temps et l'espace. Les analyses bio-anthropologiques et les études menées sur la culture matérielle convergent ainsi vers l'idée qu'il y aurait un lien entre les transformations culturelles et les mouvements de population. Elles étayent en particulier l'hypothèse d'une arrivée de populations étrangères dans la région de Zacapu au XIII^e siècle, probablement en provenance de régions proches.



PERSPECTIVES

Le caractère innovant du projet Mésomobile tient à sa dimension interdisciplinaire et au recours conjugué à des technologies de pointe destinées à préciser la résolution chronologique et spatiale des migrations anciennes. Le projet fournit un modèle d'approche « exportable » à d'autres contextes, qu'ils soient ou non mésoaméricains.

Mésomobile

Mobilités, territoires et mutations sociopolitiques dans le centre-ouest de la Mésoamérique

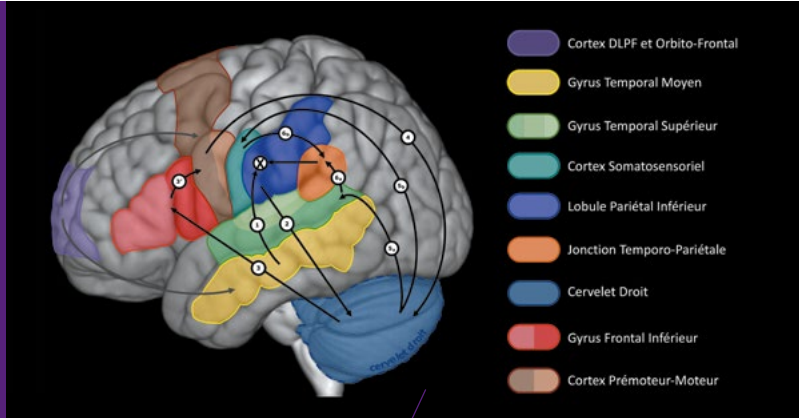
Programme ANR :
Appel à projets générique
Édition, durée du projet :
2014, 48 mois
Subvention ANR :
298 203 €

Coordinateur :
Véronique Darras
vero.darras@cnrs.fr
<https://mesomobile.hypotheses.org/>
Publication ou contribution principale :
<http://mesomobile.huma-num.fr/index.php>

Partenaires :
Archéologie des Amériques (ArchAm_UMR8096)
Centre d'études mexicaines et centraméricaines (CEMCA, Mexico)

InnerSpeech : les neurosciences cognitives à l'écoute du langage intérieur

Entendez-vous votre « petite voix » lorsque vous lisez ces lignes ? Est-ce la même voix que celle que vous entendez lorsque vous parlez à voix haute ? Pouvez-vous avoir des conversations imaginaires ? L'objectif du projet InnerSpeech était d'esquisser un modèle théorique de la parole intérieure en examinant les diverses formes, telles que la parole intérieure délibérée, le vagabondage mental ou les ruminations verbales, et en confrontant les données objectives (cérébrales, physiologiques) et celles introspectives.



Réseau cérébral de la parole intérieure délibérée

L'étude du langage intérieur est restée longtemps l'apanage des sciences humaines. S'appuyant sur l'introspection et la réflexion, les philosophes, psychologues, écrivains, poètes et artistes ont décrit diverses formes de langage intérieur et leurs rôles. Les neurosciences cognitives, grâce à leurs outils expérimentaux, peuvent apporter un nouvel éclairage sur ce phénomène interne. Dans le projet InnerSpeech, une démarche multi-paradigme a ainsi été engagée, confrontant données subjectives et objectives. Les données subjectives étaient issues de questionnaires et d'entretiens introspectifs. Les données objectives provenaient de mesures à la fois de l'activité cérébrale par Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), de la dynamique cérébrale par électroencéphalographie intracrânienne (iEEG), de l'activité électromyographique (EMG) orofaciale (muscles des lèvres, front), de la variabilité cardiaque et de l'interférence motrice.

Les résultats de ces mesures en IRMf ont permis de représenter les réseaux neu-

raux activés, selon qu'ils le sont par notre propre voix ou par la voix d'autrui (formes monologales) et de comparer ceux activés, d'un côté, par des paroles imaginées et, de l'autre, par des paroles réellement entendues (formes dialogales). Ces résultats, couplés à ceux issus de questionnaires d'introspection ont aussi permis de distinguer les réseaux cérébraux de la parole intérieure délibérée de ceux de la parole vagabonde. La collecte et l'analyse des données en iEEG chez des patients implantés sont encore en cours.

Ces données d'EMG et d'interférence motrice, recueillies en collaborations avec le Laboratoire Inter-universitaire-LIP (Grenoble) et l'Université de Ghent (Belgique), suggèrent que le système moteur labial est impliqué dans les ruminations mentales induites et fournissent des pistes pour les réduire par la relaxation ou l'inhibition orofaciale. Des données introspectives plus détaillées, recueillies avec le projet Monologue (Centre d'Études et de Recherches Interdisciplinaires en Lettres Arts Cinéma-CERILAC, Université Paris Diderot), sont en cours d'analyse. Des collabora-

tions sont envisagées avec l'Université de Durham (Royaume-Uni) et l'Université du Pays basque.



PERSPECTIVES

Le projet InnerSpeech a permis, sur le plan fondamental, de mieux comprendre les formes de la parole intérieure. Il offre des pistes thérapeutiques sur la remédiation des ruminations mentales ou des hallucinations auditives verbales et ouvre des perspectives humanistes et sociétales liées au rôle de la pratique du langage intérieur dans le développement de la conscience de soi et de la performance cognitive.

InnerSpeech

Corrélat neuroaux de la parole intérieure

Programme ANR :
Blanc SHS2

Édition, durée du projet :
2013, 48 mois

Subvention ANR :
262 995 €

Coordinateur :
Hélène Løevenbruck

Helene.Loevenbruck@univ-grenoble-alpes.fr
<http://lpnc.univ-grenoble-alpes.fr/Innerspeech>

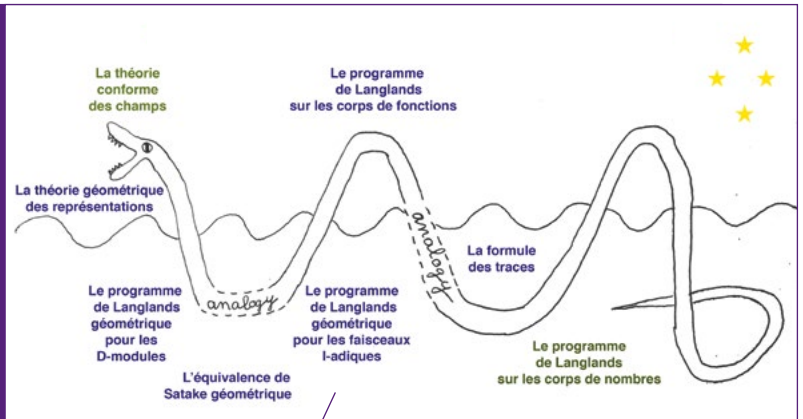
Publication ou contribution principale : Condialint:
A neurocognitive model of inner speech along condensation, dialogicality, intentionality

Partenaires :
LPNC, GIPSA-lab, UMS IRMaGe, Laboratoire d'épilepsie, Grenoble Institut des Neurosciences, Inserm U1028, Neurolab Université de Ferrara, CNoS Univ. British Columbia

VARGEN

Variétés de caractères et généralisations

VARGEN est un projet de recherche fondamentale en mathématiques, plus précisément en théorie des représentations. Le programme de Langlands est un très vaste champ d'études allant de l'arithmétique à la physique théorique. Les membres du projet ont travaillé sur des questions différentes liées à ce programme. L'objectif était de révéler les relations profondes entre plusieurs entités mathématiques en étudiant la géométrie sous-jacente.



Le programme de Langlands, vu comme un monstre marin

Comme l'indique le dessin, le programme de Langlands concerne les corps de nombres, comme par exemple celui des nombres rationnels, mais aussi les corps de fonctions, qui ressemblent aux corps de nombres mais sont plus géométriques. Il existe aussi une variante entièrement géométrique du programme de Langlands liée à la théorie conforme des champs. Les résultats de VARGEN ont été obtenus par la collaboration d'une dizaine d'universités françaises et les spécialistes d'autres pays. Durant le projet, huit workshops ont été organisés, y compris deux conférences internationales. Le projet a donné lieu à 96 publications et six articles de vulgarisation.

Dans le cadre de ce projet, V. Lafforgue a montré une partie importante de la correspondance de Langlands globale pour tous les groupes réductifs sur les corps de fonctions ; le cas du groupe linéaire était déjà connu et avait valu à L. Lafforgue la médaille Fields en 2002. S. Riche, D. Juteau et leurs collaborateurs ont montré la conjecture de Mirkovic-Vilonen sur

les fibres des faisceaux sphériques sur la grassmannienne affine. G. Laumon et P.-H. Chaudouard ont montré le théorème du support pour la fibration de Hitchin (résultat ayant des applications étonnantes en arithmétique comme dans la preuve du lemme fondamental par Bao Chau Ngo, lui ayant valu la médaille Fields en 2010). S. Mozgovoy et O. Schiffmann ont calculé le nombre des fibrés de Higgs tordus d'un rang et degré donné sur une courbe. Ph. Boalch a construit une nouvelle famille des variétés algébriques de Poisson. E. Vasserot, P. Shan, R. Rouquier et M. Varagnolo ont décrit la catégorie \mathcal{O} des représentations des algèbres de Hecke doublement affines et des algèbres de Kac-Moody. S. Lysenko a développé la théorie des séries d'Eisenstein dans le programme de Langlands métaplectique géométrique.



PERSPECTIVES

Les travaux pionniers de V. Lafforgue et A. Genestier conduiront à une version locale de la correspondance de Langlands dans le sens « automorphe vers Galois ». Les travaux de Riche, Juteau et al. ouvrent la voie à la théorie des « faisceaux-caractères modulaire » à la Lusztig. D. Gaietsgory, S. Lysenko décriront la catégorie de Whittaker métaplectique en termes des groupes quantiques.

VARGEN

Variétés de caractères et généralisations

Programme ANR :
ANR-13-BS01-0001-01

Édition, durée du projet :
2013 - 54 mois

Subvention ANR :
108 000 €

Coordinateur :
Sergey Lysenko

Sergey.Lysenko@univ-lorraine.fr
<http://www.iecl.univ-lorraine.fr/~Sergey.Lysenko/>

Publication ou contribution principale :

V. Lafforgue a montré la correspondance de Langlands dans la direction « automorphe vers Galois »

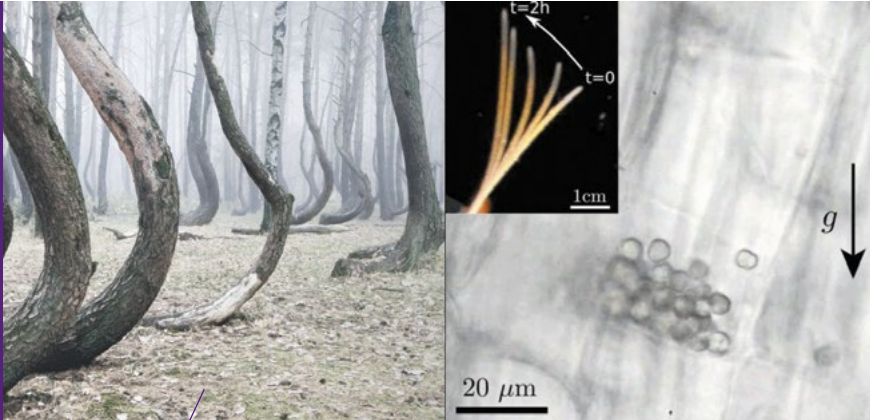
Partenaires :

Université de Lorraine, Nancy

GRAP2

La détection de la gravité chez les plantes : une question de sédimentation de grains encore non élucidée

Les tiges des plantes détectent la gravité et poussent vers le haut. Cette détection se produit dans les statocytes, des cellules contenant de petits grains d'amidon (les statolithes) qui sédimentent et donnent la direction de la gravité. Le projet GRAP2, à la frontière de la biologie et de la physique, visait à éclaircir le mystère de la remarquable sensibilité des plantes à la gravité en étudiant leur redressement conjoint au mouvement des statolithes dans les cellules.



© K. Schönberger, H. Chauvet

Sensibilité des arbres à la gravité, redressement d'un coléoptile de blé et observation des grains d'amidon servant de capteur.

P our comprendre le lien entre le redressement de la plante et le mouvement des grains d'amidon (statolithes) dans les cellules, le projet GRAP2 s'est appuyé sur des expériences menées à l'échelle de la plante et à celle de la cellule.

Dans un premier temps, et afin d'élucider ce à quoi une plante est sensible, les chercheurs ont développé une centrifugeuse qui leur a permis de soumettre les plantes à différents niveaux de gravité tout en les inclinant par rapport à la direction de la gravité effective. Les résultats ont montré que la réponse est indépendante de l'intensité de la gravité mais dépend, uniquement, de l'angle d'inclinaison. Les statocytes jouent donc le rôle d'inclinomètre et mesurent la position des grains d'amidon plutôt que les forces que ceux-ci exercent sur la paroi. Or, a priori, un empilement de grains constitue un piètre inclinomètre : frottements et enchevêtrements limiteraient les mouvements, rendant le système inopérant en-dessous d'un angle critique. Pour résoudre ce paradoxe, le projet a consisté, dans un second temps, à étudier in vivo

le mouvement des statolithes en réponse à une inclinaison et a mis en évidence que ces grains, à la différence d'un milieu granulaire, coulent comme un liquide dans la cellule quel que soit l'angle qu'on lui impose. À l'origine de ce comportement se trouve l'agitation du milieu cellulaire, ce que l'équipe a démontré en réalisant des expériences sur des systèmes analogues inertes (des microbilles dans des cellules artificielles de même dimension).

À l'issue de ce projet, un nouveau scénario s'est dessiné pour décrire la détection de la gravité chez les plantes, basé sur le fonctionnement d'inclinomètres à grains dont la sensibilité est assurée par le brassage continu des grains grâce aux moteurs moléculaires de la cellule. Ces résultats ont permis de développer un modèle théorique capable de prédire la réponse des plantes à des sollicitations arbitraires.



PERSPECTIVES

Les résultats du projet GRAP2 représentent une réelle avancée en ce qu'ils expliquent la dualité entre la grande sensibilité des plantes aux petites inclinaisons et leur capacité à filtrer les perturbations induites par le vent. Mais de nouvelles questions se posent, notamment sur la détection de la position des statolithes. Des applications bioinspirées sont envisagées comme le développement d'inclinomètres miniatures.

GRAP2

Perception gravitaire chez les plantes : de la cellule à la réponse biomécanique

Programme ANR :
BLANC

Édition, durée du projet :
2013, 54 mois

Subvention ANR :
369 246 €

Coordinateur : Olivier Pouliquen
olivier.pouliquen@univ-amu.fr

Publication ou contribution principale :

Chauvet et al, Revealing the hierarchy of processes and time-scales that control the tropic response of shoots to gravistimulations, J. Exp. Bot. (2019).

Partenaires :

Laboratoire PIAF, Université Clermont Auvergne, INRA, Clermont-Ferrand, Laboratoire IUSTI, Aix Marseille Université, CNRS, Marseille, France

APERRO

Les miroirs plasmas relativistes : comment réfléchir et manipuler la lumière laser ultra-intense ?

Les miroirs sont les composants les plus élémentaires et les plus utilisés en optique. Grâce aux impulsions lasers ultrabrèves, il est possible d'étudier leur comportement lorsqu'ils sont soumis à des intensités lumineuses considérables. L'objectif du projet APERO était d'aboutir à une bonne compréhension des mécanismes physiques mis en jeu dans ces conditions, et de les exploiter pour obtenir des sources de lumière ultrabrèves et de particules relativistes aux propriétés remarquables.



Carte du front de phase spatiale d'un faisceau harmonique produit sur miroir plasma par un faisceau laser à vortex de phase

Lorsqu'une impulsion laser ultra-brève est focalisée à une intensité suffisamment élevée sur un solide, ce dernier se trouve fortement ionisé en un temps très court. Un plasma – ensemble d'électrons et d'ions non-liés – est ainsi créé en surface de la cible. Du fait de la brièveté de l'impulsion, ce plasma n'a pas le temps de se détendre vers le vide pendant l'impulsion, et l'interface plasma-vide peut donc rester extrêmement abrupte durant toute l'interaction. On obtient alors un plasma dense, qui se comporte comme un miroir de qualité optique pour l'impulsion laser. Étant fortement ionisé, un tel « miroir plasma » peut être exposé à des champs laser ultra-intenses, jusqu'à un régime où le mouvement de la surface du miroir sous l'effet du champ laser devient relativiste, c'est-à-dire que cette surface se déplace alors quasiment à la vitesse de la lumière. Ce « miroir oscillant relativiste » induit un effet Doppler périodique sur le champ laser réfléchi, qui donne lieu à la génération d'un grand nombre de fréquence multiples de la fréquence du laser. Des électrons peuvent également

être éjectés du plasma vers le vide, ce qui produit des faisceaux d'électrons relativistes. Les propriétés de ces faisceaux de particules et de lumière permettent de déchiffrer les phénomènes physiques en jeu au sein du miroir plasma. En outre, ces faisceaux ont des propriétés remarquables et uniques (notamment leur très faible durée), qui les rendent très intéressants pour des applications scientifiques.

Le projet APERO a permis d'aboutir à une bien meilleure compréhension des phénomènes physiques mis en jeu lors de l'interaction entre un laser et un miroir plasma, notamment ceux donnant lieu à l'émission de faisceaux d'électrons relativistes. Des méthodes originales de contrôle et de caractérisation des propriétés des faisceaux d'harmoniques générés ont également été définies, permettant l'étude de ces propriétés dans différentes conditions d'interaction. Grâce à ces résultats, des modélisations précises de la dynamique des miroirs plasmas sous l'effet du champ laser ont pu être validées.



PERSPECTIVES

Les avancées du projet APERO permettent d'envisager l'utilisation des miroirs plasmas dans des applications scientifiques, par exemple pour obtenir des accélérateurs de particules ultra-compacts, et, d'un point de vue plus fondamental, pour obtenir des intensités lumineuses extrêmes, encore jamais atteintes en laboratoire, si élevées que des particules seraient générées dans le vide à partir de la seule lumière.

APERRO

Attosecond Plasma
Electronics and
Relativistic Optics

Programme ANR :

Défi de tous les savoirs

Édition, durée du projet :

2014, 36 mois

Subvention ANR :

499 401 €

Coordinateur :

Fabien Quéré

fabien.quere@cea.fr

<http://iramis.cea.fr/LIDYL/PHI/>

Publication ou contribution principale :

Thevenet et al, Nature Physics 12, 355–360 (2016)

Partenaires :

Laboratoire d'optique Appliquée
(groupes PCO et APPLI)