



# PLATEFORME DES RESEAUX DE LA MISSION POUR L'INTERDISCIPLINARITE

## Plan Pluriannuel de Formation 2016-2018 Réseau des Technologies des Plasmas Froids du CNRS

# 1. Identification du réseau national

## Description du réseau :

Le réseau des Plasmas Froids a été créé en décembre 2001. Son origine : un constat établi deux ans auparavant : la communauté plasma, au fil des ans, est devenue diffuse sur le territoire national (répartition sur l'ensemble du territoire, quelques gros laboratoires, mais aussi beaucoup de petits groupes ou équipes au sein de laboratoires dont ce n'était pas l'activité principale). Il en résultait donc des liens distants entre les groupes.

Le réseau s'adresse à l'ensemble de la communauté française qui développe, étudie ou utilise les plasmas froids et leurs applications. Cette communauté est très large et hétérogène pour plusieurs raisons :

- La technologie des plasmas fait appel à de nombreuses disciplines : physique des plasmas, génie électrique, génie des procédés, technologie du vide, thermique, mécanique des fluides, optique.
- L'objet « plasma » est très variable : de la grande surface à la microdécharge, de la pression atmosphérique (ou supérieure) à la basse pression ( $\sim 10^{-6}$  atmosphère), des plasmas hors équilibre aux plasmas thermiques, torches et arcs.
- Les domaines d'étude et applications sont très divers : physique des décharges (milieu gazeux ou liquide), physique de la haute atmosphère (planétologie), source plasma et source d'ions (fusion, propulsion), source de photons (éclairage, source UV, VUV, EUV, X, laser), procédés pour les matériaux (synthèse, dépôt, gravure, traitement, découpe), combustion, traitement d'effluents (dépollution), biologie (stérilisation), médecine (cicatrisation, cautérisation).
- Les équipes ou laboratoires dépendent de tutelles ou d'organismes divers : UMR, UPR, EPIC, Université.
- La population concernée est également large : physiciens, chimistes, (bientôt biologistes et médecins ?). Chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, doctorants.

Cependant, les plasmiciens partagent des préoccupations communes :

- physique des plasmas,
- diagnostics des plasmas (électrique, optique physico-chimique...),
- diagnostics des objets et surfaces en milieu plasma (température, physico-chimie...),
- caractérisation des interactions plasma-surfaces,
- technologie des procédés et des sources,
- amélioration des outils (réacteur, diagnostic, théorie, modèle...),
- modélisation des mécanismes, des procédés,

qui les amènent à se retrouver sur des méthodologies d'analyse et outils de recherche communs.

Dans ce cadre, l'objet du réseau est de maintenir et renforcer les liens entre les membres de cette communauté, qui tout en ayant des domaines d'applications très divers, partagent un cœur de métier commun (le plasma froid), des outils et méthodes de diagnostics communs, des préoccupations communes.

Le réseau œuvre également à favoriser le partage et la pérennité des moyens, compétences, connaissances et savoir-faire au sein de la communauté en proposant des actions de formation.

Au cours de l'année 2002 un plan de formation pluriannuel a été mis en œuvre organisé autour des modalités pédagogiques suivantes :

-**Les journées du réseau** associent des sessions de cours généraux sur une thématique ciblée (physique, diagnostic ou technologie des plasmas), des exposés focalisés sur des développements récents, l'évolution de la discipline ou de nouvelles applications, des ateliers Jeunes Chercheurs pendant lesquels ceux-ci exposent et débattent avec la communauté et des moments de libres échanges pour faciliter l'intégration des nouveaux personnels (chercheurs, enseignants chercheurs et IT) à la communauté. Pour être efficaces, il est nécessaire que les Journées regroupent un nombre suffisant de participants et que la fréquence des rencontres soit suffisante.

- **Publication**, en relation avec les Journées, d'ouvrages constitués des cours et articles pédagogiques rédigés par les intervenants-enseignants des Journées.

- **Les ateliers** ciblent la formation théorique, et si possible pratique, à une méthode de diagnostic ou d'analyse des plasmas ou des procédés plasmas. Ils s'adressent à un petit nombre de participants (une vingtaine au maximum).

Journées et ateliers sont principalement mis en œuvre en partenariat avec le Pôle Développement des Compétences de la Délégation Midi-Pyrénées.

Par ailleurs un site web, puis un **forum de discussion** furent mis en place. En 2011, au forum de discussion a été adjoint un **forum « proposition/recherche thèse et post-doc »**.

En 2004 deux nouvelles actions ont été initiées, avec le partage de moyens et de savoir-faire comme objectif :

- **L'incitation au partage de moyens et de compétence (IPMC)**. Dans le but de promouvoir les échanges techniques entre équipes (moyens, savoir-faire), cette action apporte une aide financière (transport, hébergement) ; l'examen des demandes et la sélection des projets sont faites par le comité de pilotage du réseau.

- **Les outils mutualisés**. Ces outils sont des moyens de diagnostics des plasmas, des bases de données, ou des plateformes techniques. Ils sont donc empruntables par l'utilisateur ou accessibles sur demande. Sélectionnés sur appel à projet au sein du réseau, ces outils ont fait l'objet d'un achat avec financement spécifique par le CNRS (MRCT ou Cortech). Ces outils, mis en place entre 2004 et 2010, sont actuellement au nombre de 8 : 4 pour les diagnostics plasmas, 2 plateformes techniques, 1 base de données.

Depuis 2010 une **action « internationale »** s'est mise en place. Selon les années celle-ci prend différentes formes : Journées communes avec le réseau Plasma-Québec en 2010, Invitations d'orateurs de pays francophones aux Journées 2011, Tenue d'une session « internationale » lors des Journées 2013. Participation du réseau à l'"International Summer School on Low Temperature Plasma Physics: Basics and Applications" en 2014.

En 2012 le réseau a mis en place des **webinaires** dont 6 sont actuellement disponibles sur le site web. Il s'agit de cours sur des méthodes ou des techniques particulières, ou un état de l'art sur une thématique des plasmas froids.

En 2015, une **Lettre d'information** a vu le jour afin d'informer la communauté sur les actions récentes et futures du Réseau.

Les « juniors », qu'ils soient chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens ou doctorants, constituent une des cibles majeures de ces actions de formation. Dans ce domaine les Journées et les ateliers jouent un rôle primordial.

Enfin le réseau cherche aussi à favoriser les échanges avec les communautés à l'interface de sa discipline. On peut citer par exemple les chimistes, les biologistes, les informaticiens, les physiciens des plasmas chauds....

Nom du responsable/coordonnées :

**Maxime Mikikian**

GREMI, 14 rue d'Issoudun, BP6744, 45067 Orléans Cedex 2

02 38 49 48 81

[maxime.mikikian@univ-orleans.fr](mailto:maxime.mikikian@univ-orleans.fr)

Nom du correspondant budget/coordonnées :

**Yann Cressault**

LAPLACE, 118 route de Narbonne, Bât 3R3, 31062 Toulouse Cedex 9

0561558221

[yann.cressault@laplace.univ-tlse.fr](mailto:yann.cressault@laplace.univ-tlse.fr)

Nom du référent formation/coordonnées :

**Armelle Michau**

LSPM, 99 avenue JB Clément, 93430 Villetaneuse

0149403410

[armelle.michau@lspm.cnrs.fr](mailto:armelle.michau@lspm.cnrs.fr)

*Site(s) WEB du réseau :* <http://plasmasfroids.cnrs.fr/>

## 2. Bilan des 2 années écoulées

### a. Bilan des actions nationales (co-)financées par le CNRS pour les années 2013 et 2014 (ANF ou autres)

#### ➤ LES JOURNEES DU RESEAU

##### 2013 - ANF - Les Journées de Rencontre du Réseau Plasmas Froids

**Porteurs :** CoPil du RPF

**Budget total alloué :** Alloués 28 000 € (SFIP 19000 + MRCT 6000 + FI 3000) – Dépensés 27 462 €

**Objectif de la formation :** Au cours de ces journées, une session cours sur les spectroscopies d'absorption UV et IR et la spectrométrie de masse a été proposée. Elle faisait suite à la session cours de l'année précédente. Des sessions plénières présentant l'état de l'art en plasmas pulsés et autres sujets émergents ont également été proposées. Les jeunes chercheurs ont fortement été mis à contribution, avec les ateliers (idem 2012), les posters/anti-posters et une session consacrée à des exposés oraux.

La table ronde avait pour objet les potentielles actions de formation que le Réseau Plasmas Froids pouvait mener en dehors des frontières de l'hexagone. Différents représentants de la communauté francophone ont pris la parole (Luxembourg, Belgique, Suisse, Portugal, Canada) afin de présenter la communauté des plasmas froids de leur pays et les éventuels besoins/demandes à faire au réseau. A l'issue de ces discussions, il a été décidé de permettre l'accès au forum aux étudiants de ces pays. La participation du réseau à une session TP lors de l'école d'été Plasmas de Bad Honnef en Octobre 2014 a également été actée.

**Bilan quantitatif :** Ces rencontres ont eu lieu à La Rochelle, au sein de la Résidence Club La Fayette, du 14 au 17 octobre 2013. Elles ont réuni 94 participants dont 25 intervenants et/ou membres du comité de pilotage et 69 stagiaires. Elles furent marquées par un regain de participation des ITA/ITRF (15% des stagiaires), une proportion stable de doctorants (30%), une majorité de chercheurs (39%) et 16% d'enseignants chercheurs. Le Service de la Formation et des Itinéraires Professionnels avait demandé, cette année-là, un « quota » obligatoire de participants CNRS de 50%. Avec 35.37%, l'objectif n'a pas été atteint. Cependant, des droits d'inscription à hauteur de 150 euros avaient été demandés pour les non CNRS, ce qui couvrait en partie les frais d'hébergement de ces stagiaires. Concernant la répartition par âge, on note comme en 2012 une forte proportion de la tranche 20-30 ans, suivie de près par la classe 31-40 ans. Le nombre de chercheurs les plus confirmés (51-60 ans) se maintient, mais à un niveau faible (5% environ). Enfin, ces journées furent marquées par une participation d'intervenants étrangers ayant répondu à l'invitation du Comité de Pilotage du Réseau qui souhaitait évaluer les potentialités en terme de partenariat pour la formation.

**Bilan qualitatif :** La session orale des jeunes chercheurs a été bien accueillie par certains, mais a été néanmoins jugée globalement trop longue. Il a été décidé de la supprimer pour les journées 2014. De même, la session « industriels » qui avait été inaugurée à l'occasion de ces journées, a reçu un accueil mitigé et ne sera ainsi pas renouvelée en 2014.

## **2014 – ANF - Les Journées de Rencontre du Réseau Plasmas Froids**

**Porteurs :** CoPil du RPF

**Budget total alloué :** Alloués 25 504 € (SFIP 20000 + MI 3000 + FI 2504) – Dépensés 25 137 €

**Objectif de la formation :** S'étalant sur six demi-journées, ces Journées comportaient une session cours sur la modélisation fluide et les procédés plasmas, ainsi que des sessions plénières présentant l'état de l'art en modélisation, plasma thermique, procédés plasmas pour le photovoltaïque et sur des sujets émergents. L'organisation générale de ces journées a suivi le même schéma que lors des manifestations précédentes, avec cependant des plages horaires de discussions libres plus importantes, en conformité avec les souhaits formulés par la communauté.

**Bilan quantitatif :** Ces rencontres ont eu lieu à La Rochelle, au sein de la Résidence Club La Fayette, du 20 au 23 octobre 2014. Elles ont réuni 68 participants dont 25 intervenants et/ou membres du comité de pilotage et 43 stagiaires.

Ces journées ont montré une participation plus faible qu'à l'accoutumée avec 68 participants. Le quota de participants CNRS a cependant atteint les 50% avec une grande majorité de chercheurs (48%) et un faible nombre d'ITA (6%) peut être dû aux sujets abordés (notamment la modélisation). Comme c'est régulièrement le cas, la répartition par âge fait apparaître une forte présence de participants jeunes (-40 ans) qui viennent se former et acquérir des connaissances en plasma.

**Bilan qualitatif :** Le plus faible nombre de participants est à regretter. Bien que les raisons ne soient pas clairement identifiées, on peut évoquer certaines possibilités : le caractère payant pour les non-CNRS, une nouvelle procédure d'inscription, des délais plus courts, des sujets concernant une communauté plus petite. Certains de ces points seront améliorés. Les exposés généraux ont été globalement appréciés. La grande qualité des présentations ainsi que leur caractère très pédagogique ont été souvent mentionnés. Les ateliers organisés autour des jeunes chercheurs ont rencontré cette année encore un franc succès. La session poster a été jugée très intéressante et il a été suggéré d'encourager encore plus la présentation d'anti-posters faisant état des problèmes rencontrés par les jeunes chercheurs. Cela permettrait d'améliorer l'échange entre les chercheurs experts et les chercheurs débutants et de favoriser la transmission des compétences. Cette idée sera reprise pour les prochaines éditions.

### ➤ **LES ATELIERS (ANF ou Ressources Propres)**

## **2013 - ANF – Atelier Fonctionnalisation des surfaces par plasma : Techniques et Applications**

**Porteurs :** Eva Kovacevic, Johannes Berndt, Maxime Mikikian

**Budget total alloué :** Alloués 4 400 € (SFIP 3500 + MRCT 900) – Dépensés 3 627 €

**Objectif de la formation :** L'objectif de l'atelier était de présenter des techniques permettant de caractériser l'interaction plasma surface afin de proposer des solutions aux équipes de recherche confrontées à cette problématique. Il s'agissait tout d'abord de définir quels types d'interactions pouvaient intervenir (plasma-solide, plasma-liquide) et dans quels procédés plasma ils se rencontraient (gravure, pulvérisation, fonctionnalisation). Une approche théorique a permis de poser les bases de cette interaction et les méthodes de modélisation et de simulation de ces phénomènes ont été présentées. Elles permettent de mieux comprendre les résultats expérimentaux ou d'observer des phénomènes difficilement mesurables. Cette approche a alors été confrontée aux méthodes expérimentales de caractérisation de ces interactions. Ceci a pu être réalisé par une séance de travaux

pratiques qui a permis aux participants de se familiariser avec les techniques ou procédés suivants : Travail en salle blanche, Gravure par plasma, Mesure d'angle de contact (statique et dynamique) sur surfaces fonctionnalisées, Mesure des flux sur une surface exposée au plasma, FTIR (Fourier Transform InfraRed spectroscopy) et LIF (Laser Induced Fluorescence).

**Bilan quantitatif :** Cet atelier a eu lieu au GREMI (UMR 7344) à Orléans du 12 au 14 juin 2013. Préparé par Eva Kovacevic (GREMI), Johannes Berndt (GREMI) et Maxime Mikikian (GREMI, CoPil du Réseau Plasmas Froids), il a regroupé 31 personnes (20 participants + 11 intervenants et organisateurs) et s'est déroulé sur 4 demi-journées. Environ un tiers des participants étaient des doctorants, et sur l'ensemble des participants 44% étaient employés par le CNRS. Les stagiaires ont pu assister à 9 présentations pédagogiques et une demi-journée entière a été consacrée aux démonstrations et aux travaux pratiques en petits groupes.

**Bilan qualitatif :** Un questionnaire d'évaluation a été distribué « à chaud » à l'ensemble des participants. L'atelier a été très bien évalué, le grand niveau d'expertise des exposés généraux et la clarté des travaux pratiques étant notamment soulignés. Une des améliorations à apporter serait de renforcer la part des travaux pratiques et notamment de prévoir plus en amont la possibilité pour les participants de venir avec leurs propres échantillons pour tester les méthodes d'analyse et vérifier leur pertinence dans leur cas précis. L'avis global a été très positif et certains participants ont exprimé leur souhait de voir cet atelier renouvelé à l'avenir.

#### **2014 – Ressources Propres du RPF – Atelier Diagnostics plasma : Méthodes de détermination des propriétés électroniques et ioniques**

**Porteur :** Stéphane Mazouffre

**Budget total alloué :** Alloués 7 000 € (MI 5000 + FI 2000) – Dépensés 5 867 €

**Objectif de la formation :** Il s'agit d'initier les participants à diverses techniques expérimentales électriques et optiques qui permettent de sonder les propriétés des électrons et des ions dans un milieu plasma. Cette formation propose une approche à la fois théorique, via des exposés, et pratique, via des mises en situations sur des réacteurs à plasma basse-pression. Une initiation (méthode, mesure, analyse du signal) a été donnée aux techniques suivantes : sondes électrostatiques, analyseur d'énergie, techniques micro-ondes et spectroscopie de LIF.

**Bilan quantitatif :** Cet atelier s'est déroulé au laboratoire ICARE à Orléans, du 1<sup>er</sup> au 3 décembre 2014 et a accueilli 20 stagiaires et 11 intervenants/organisateur. Les stagiaires ont assisté à 11 exposés posant les bases et les principes de diagnostics plasmas classiquement utilisés dans les laboratoires. Certains de ces systèmes sont également mis à disposition à travers les outils mutualisés du réseau. Environ 35% des stagiaires étaient CNRS.

**Bilan qualitatif :** Les exposés ont été jugés très clairs et pédagogiques et ont permis d'avoir une vue d'ensemble des diagnostics plasmas existants. Les échanges avec les intervenants ont été nombreux et fructueux pour les stagiaires. La partie pratique a été très appréciée car elle a permis de se confronter aux problèmes souvent rencontrés dans l'utilisation de certaines techniques. Une amélioration possible de cet atelier serait d'augmenter le temps consacré aux TP en réduisant un peu le nombre d'exposés et en se focalisant plus particulièrement sur certaines techniques.

## ➤ LES ACTIONS CONTINUES

### **Les « Webinaires » :**

L'action « webinaires » a été initiée en 2012 avec deux objectifs principaux: renforcer l'attractivité de la science des plasmas auprès des étudiants, et mettre de nouveaux supports pédagogiques à disposition de la communauté plasma (en complément des livres des journées). La mise en place des webinaires s'est faite à partir de présentations orales enregistrées au fil de l'eau (prises en charge techniquement et financièrement par la MRCT). Les webinaires sont postés sur le site web du RPF à l'issue des enregistrements. Actuellement 6 webinaires sont disponibles.

En 2013 et 2014, cette action a connu une pause, principalement du fait des difficultés techniques rencontrées en 2012 pour enregistrer les intervenants dans des conditions optimales. En effet, certains problèmes de son ou de qualité d'images sont apparus suite aux enregistrements des premiers webinaires. De plus, les vidéos montraient généralement l'orateur seul devant son ordinateur.

Une réflexion a eu lieu pour trouver une nouvelle méthode d'enregistrement et rendre les présentations plus vivantes avec la présence de public. Cette réflexion devrait aboutir à de nouveaux enregistrements à partir de 2015. Il est également prévu de diffuser ces webinaires en direct sur internet et de rendre la session des questions à l'orateur ouverte aux internautes qui pourront poser leurs questions par mail ou "chat". Il est par exemple envisagé de profiter des ateliers organisés par le réseau pour enregistrer certaines des présentations et également d'enregistrer certains séminaires dispensés dans les laboratoires.

D'un point de vue pédagogique, différents types de webinaires sont proposés :

- les webinaires « Recherche » présentant des états de l'art ou des résultats marquants sur des travaux de recherche récents ;
- les webinaires « Cours » traitant de notions fondamentales, d'une technique particulière, d'un outil mis à disposition par le réseau (outils mutualisés)
- les webinaires « Vulgarisation » relatifs à des aspects/applications des plasmas pouvant toucher le grand public.

### **Les ITCs/IPMCs :**

L'action ITC (nouvellement rebaptisée IPMC pour Incitation au Partage de Moyens et de Compétences) est une action phare du RPF, mise en place dès la création du réseau. Elle a pour objectif de promouvoir les échanges et la formation entre les laboratoires de Recherche partenaires du réseau, par l'apport d'un soutien financier à des projets scientifiques (relevant des plasmas froids) réunissant au moins deux laboratoires et pour lesquels un partage de moyens, de compétences, de savoir ou de savoir-faire est nécessaire. Depuis début 2014, l'aide financière est de 500 € par missionnaire (plusieurs missionnaires pouvant dépendre du même projet) couvrant tout ou partie des frais de déplacement, d'hébergement et de restauration. Elle était de 700 € par projet jusqu'en 2013.

La procédure de fonctionnement de cet outil est la suivante. Toute demande de soutien doit être consignée sur une fiche et envoyée à un des membres du comité de pilotage du réseau qui transmet au comité pour évaluation. Le comité de pilotage s'assure de la bonne adéquation de la demande avec les objectifs du réseau ; il vérifie également, auprès des DR dont dépendent les laboratoires demandeurs, du non recouvrement de la demande avec l'action de tutorat du CNRS. Si tel est le cas, le comité de pilotage évalue la demande en réunion et informe les porteurs du projet de l'acceptation ou du refus de la demande. En cas de validation de la demande par le comité de pilotage, la mission afférente doit être mise en place dans un délai de 6 mois. Enfin, lors des Journées du Réseau Plasmas Froids qui font suite à la réalisation de la mission, les bénéficiaires sont invités à présenter le bilan de leur projet soutenu sous la forme d'un oral ou d'un poster.

Cette action est riche de retombées, puisque que pas moins de 13 publications et 11 projets de collaborations (recensés dans l'enquête 2014) ont vu le jour suite aux ITCs financées ces 4 dernières années.



#### En 2013 :

- *Contribution à l'étude de plasma nanoseconde pour les applications en biologie*  
SIAME-IPRA (Pau) / XLIM (Limoges)
- *Observation de l'instabilité de "rotating spoke" par imagerie rapide dans une décharge magnétron*  
ICARE (Orléans) / LPGP (Orsay)
- *Caractérisation des espèces présentes dans un plasma par spectroscopie optique d'émission*  
IS2M (Mulhouse) / IJL (Nancy)
- *Utilisation de l'imagerie rapide associée à un algorithme d'analyse d'images pour l'étude du transport des poussières carbonées dans un plasma basse pression magnétisé*  
LAPLACE (Toulouse) / IJL (Nancy)

#### En 2014

- *Etude des transferts d'énergie plasma/surface sur un procédé de PECVD à pression atmosphérique*  
GREMI (Orléans) / SPCTS (Limoges)
- *Collective Thomson scattering for the study of instabilities in a planar magnetron source*  
ICARE (Orléans) / LPGP (Orsay)
- *3PA, Polymérisation Plasma à Pression Atmosphérique*  
GREMI (Orléans) / IEMN (Villeneuve d'Ascq)

#### ➤ **OUTILS MUTUALISES**

A ce jour le réseau Plasmas Froids a contribué à mettre en place différents outils mutualisés :

- 2 plateformes technologiques équipées d'une large gamme de réacteurs et de moyens d'analyse in-situ,
- 4 appareils de mesures pouvant être déplacés et adaptés sur différentes expériences
- 1 base de données consultable en ligne : LXcat.

L'un des avantages majeurs de ce parc d'outils est de donner au réseau la possibilité d'organiser, lors d'ateliers ou autres actions de formation, des sessions de travaux pratiques au cours desquelles les stagiaires peuvent notamment apprécier la faisabilité de certaines analyses suivant leur propre cas expérimental.

Au cours de l'année 2014, le réseau a ainsi pu mener deux actions dans ce sens :

- Une séance de Travaux pratiques lors de l'école d'été internationale « Low Temperature Plasma Physics » à Bad Honnef dispensés par deux membres du réseau et utilisant l'interféromètre micro-onde et des diodes du réseau. Le TP a eu un grand succès auprès des participants.
- L'atelier 'Diagnostics Plasma' organisé par le réseau. Qui a permis aux participants de s'initier à la mise en place concrète d'une sonde de Langmuir et d'un interféromètre micro-onde du réseau. Si la mise en place du TP a été délicate, les participants ont beaucoup apprécié de se confronter aux difficultés que chaque expérimentateur peut rencontrer dans son laboratoire et qui ont permis de discuter des solutions à mettre en place pour y remédier.

Les outils sont également disponibles pour une utilisation individuelle d'une équipe de recherche.

Pour chacun des outils, l'utilisation est soumise à l'acceptation d'une charte de bon usage et au suivi d'une formation dispensée par les responsables. Outre le respect du bon usage des outils, ceci permet de mettre en place une transmission de compétence entre les équipes du réseau.

En 2014 nous avons travaillé à la mise en place de nouvelles chartes et à la simplification du processus de demande. Un nouvel outil, les sondes de Langmuir 'Que do' entièrement développé dans un laboratoire a été mis à disposition pour les prêts. Le détail pour chacun des outils est donné ci-après.

- Sonde de Langmuir QUE-DO

Les sondes ont été mises à disposition pour les prêts à partir de septembre 2014.

Utilisations : 1 atelier + 2 prêts en laboratoire (LPCTS –IMMN). Les prêts sont de 1 mois chacun.

Les retours de ces premières expériences sont très positifs. Toutefois, le transport semble poser des problèmes. La réalisation d'un emballage dédié (sondes et dispositif) est envisagée. Un budget spécifique devra être prévu le plutôt possible pour se faire.

La sonde est actuellement en panne et indisponible pour réparation. Afin de palier à ceci, le réseau finance à hauteur de 3 k€ un changement de la carte d'acquisition.

2 demandes sont d'ores et déjà en attentes.

- Diodes

4 utilisations : 1 atelier, 1 TP et 2 prêts en laboratoire (LPGP mars à juin 2014 et ENS octobre-novembre 2014).

Bilan : le diagnostic plasma peut s'avérer difficile lorsque les densités mesurées sont trop faibles.

Les diodes sont disponibles depuis de nombreuses années et le responsable est une personne dont la compétence en la matière est fortement appréciée. Les demandes pour ces diodes restent donc toujours importantes. Le succès de ces actions peut aussi être apprécié par le fait que certains laboratoires ont, après plusieurs emprunts, finalement acquis de telles sondes pour un usage régulier.

- Interféromètre micro-onde

L'interféromètre a été mis à disposition en 2013.

4 actions ont été menées en 2014 : 1 atelier, 1 TP et 2 prêts en laboratoire (ICARE-GREMI) de 2 mois chacun.

Une demande est formulée pour l'été 2015.

Il est important de noter que peu de communication a été faite sur la disponibilité de cet outil encore très récent. Il faudra donc communiquer via le forum ou la newsletter à ce sujet.

- Caméra infra-rouge

Cet outil est disponible depuis 2010. Il n'y a pas eu de demande ces 2 dernières années.

Objectif : communiquer à son sujet via forum et newsletter.

- LX cat

Il s'agit d'une base de données 'de base' nécessaires à la modélisation et à l'interprétation d'expériences (sections efficaces de collision, coefficients de transport ...).

Son utilisation n'étant pas contrôlée, il est difficile de connaître les utilisateurs. Toutefois, les statistiques Web fournies montre ~30 utilisateurs uniques /mois pour la France et un total de 1580 sur tous les pays.

- Plateforme OPTIMIST

Deux études ont été menées sur la plateforme en 2014.

- La première de mars à juillet 2014 par l'IMN : Synthèse de films minces organiques en plasma de mélange méthane-azote, étude en collaboration avec l'IPSL / LATMOS (Guy Cernogora et Nathalie

Carrasco). Des transferts de l'échantillon vers la chambre d'analyse XPS ont été réalisés avec succès à des températures entre 90 et 300 K. La seule (mais majeure !) difficulté rencontrée tient à la thermodynamique du système étudié, la pression de vapeur des espèces adsorbées en surface pénalisant fortement le vide de la chambre XPS.

Au cours de cette étude le spectromètre de masse de l'IMN a été installé sur la plateforme, validant ainsi pour la première fois la possibilité d'utiliser ce diagnostic sur les plasmas mis en œuvre dans Optimist.

- La seconde en décembre 2014 : Campagne d'une semaine par le GREMI, gravure cryogénique en plasma SF<sub>6</sub>-O<sub>2</sub>. D'autres campagnes de manip sur cette thématique sont envisagées au cours du printemps 2015.

Evolution de l'équipement : Le système de polarisation du porte-échantillon (actuellement à 13.56MHz) a été remplacé (début 2015) par un générateur rf à fréquence variable (100KHz – 30MHz), ceci donnera plus de flexibilité pour pallier les problèmes potentiels de régulation de température sous polarisation rf.

- Plateforme IAP3

Pas de demande via le réseau

Ces dernières années, la communication autour de ces outils a été principalement faite lors des journées du réseau. L'information n'a donc pas été relayée auprès de toute la communauté. La mise en place d'une newsletter ainsi qu'un envoi via la liste de diffusion peuvent permettre une meilleure diffusion de l'information.

## **b. Bilan des actions régionales les plus importantes (co-)financées par le CNRS pour les années 2013 et 2014**

Aucun bilan n'est à présenter dans ce cadre.

## **c. Bilan général**

L'analyse critique des actions du réseau au cours des 2 dernières années est détaillée dans la partie 2.a dans le résumé de chaque action.

Pour résumer cette analyse, on peut clairement affirmer que les Journées de Rencontres constituent l'action phare du réseau. C'est un rendez-vous qui est devenu au fil des ans une référence pour les chercheurs de la communauté des plasmas froids désirant se former à différents concepts et techniques "plasma". C'est une action qui permet également de renforcer les interactions entre les membres du réseau et qui assure un transfert de connaissances des chercheurs expérimentés vers les plus jeunes. Bien que le format actuel semble donner satisfaction, des aménagements dans la structure des Journées sont apportées à chaque édition en fonction des retours des participants. Une des "critiques" qui revient régulièrement est la densité du programme

Les ateliers sont également une action plébiscitée par notre communauté. C'est notamment la possibilité de s'exercer au cours de TPs qui est mise en avant par les stagiaires. Là aussi, la densité du programme est souvent pointée par les stagiaires avec une part d'exercices pratiques qui mériterait d'être augmentée. Une optimisation consisterait à trouver un compromis entre la quantité

d'informations "théoriques" à communiquer et la partie pratique. Cette dernière se confrontant également aux problèmes de disponibilité et de fonctionnement des équipements ainsi qu'au nombre restreint de personnes pouvant les utiliser simultanément.

Les IPMCs sont bien utilisées par la communauté et leur fonctionnement semble satisfaisant même si elles ne couvrent pas financièrement la totalité des missions.

Les outils mutualisés sont utilisés par la communauté bien qu'une certaine disparité des demandes existe entre les outils. Certains sont particulièrement demandés alors que d'autres sont peu utilisés. Une meilleure communication sur l'existence de ces outils est actuellement menée, notamment grâce à la mise en place d'une Lettre d'Information du réseau. Les problèmes de transport des outils depuis le laboratoire d'hébergement vers le laboratoire demandeur se résolvent au fil des ans en optimisant la procédure de prêt.

Les Webinaires ont connu une pause ces 2 dernières années du fait de problèmes techniques d'enregistrement. Ces points bloquants devraient disparaître prochainement et une nouvelle série de webinaires devrait voir le jour.

### 3. Plan de Formation 2016 – 2018

#### a. Prospective Métier et / ou technologique pour la communauté visée

Afin d'établir un projet de formation en phase avec les attentes de la communauté, il convient au préalable de s'interroger sur ces attentes. Pour se faire, nous avons utilisé deux approches complémentaires. La première a été d'analyser les défis présents et futurs auxquels la communauté plasmas froids est et sera confrontée, et d'identifier les avancées scientifiques et technologiques nécessaires pour relever ces défis. Ainsi, nous nous sommes appuyés d'une part sur le rapport de conjecture de la section 10 du CNRS<sup>1</sup>, section de rattachement principale des plasmas froids, d'autre part sur un article intitulé « The 2012 Plasma roadmap » paru en 2012<sup>2</sup> et synthétisant l'état de l'art et les recherches à venir au niveau international dans le domaine des plasmas froids. La seconde a consisté à soumettre une enquête à l'ensemble des membres du réseau pendant l'été 2014, enquête qui visait à la fois à faire un bilan sur les actions passées, mais également à recenser les désirs/besoins pour le futur.

Selon le rapport de conjecture du CNRS 2010<sup>1</sup>, « les travaux sur les plasmas froids en France peuvent être déclinés en quatre axes principaux, en liaison avec les applications des recherches et qui constituent des enjeux technologiques forts :

- matériaux : gravure en microélectronique, dépôt de couches dures, traitement de polymères, nitruration et implantation ionique dans les métaux, soudure et découpe en métallurgie, synthèse de poudres, de nano tubes, et de matériaux micro- et nano structurés, nettoyage de surfaces ;
- énergie : synthèse de l'hydrogène, physique et technologies pour ITER, dépôt de couches photovoltaïques, lasers à gaz, sources lumineuses à basse consommation, écrans plasmas, dépôt de couches actives pour membranes à combustibles ;
- environnement : conversion des polluants atmosphériques (NOx et COV), combustion propre, destruction des agents bactériologiques, stérilisation des surfaces, vitrification des déchets ;
- transport : contrôle d'écoulement, déclenchement et contrôle de la combustion, propulsion spatiale. »

Auquel il convient de rajouter un thème ayant émergé en force ces dernières années, tout particulièrement en France, et qui concerne l'utilisation des plasmas dans le domaine de la biologie et de la santé, pour la stérilisation, mais également l'effet antitumoral des plasmas in vitro et in vivo, la synergie plasma/chimiothérapie, et les biomatériaux y compris utilisés en médecine régénératrice.

Ces axes recourent en totalité les 16 domaines référencés comme clefs à l'échelle internationale<sup>2</sup> : « 1) Plasma-etching processes for future nanoscale devices 2) Plasma deposition processes for ultimate functional devices 3) Very large area plasma processing 4) Microplasmas 5) Plasmas in and in contact with liquids: a retrospective and an outlook 6) Plasma medicine 7) Plasma catalysis 8) Thermal plasma applications, including welding, cutting and spraying 9) Plasma for environmental applications 10) Plasma-assisted ignition and combustion 11) 'Nanodusty' plasmas: nanoparticle formation in chemically reactive plasmas 12) Plasma thrusters 13) Plasma lighting 14) Plasma modelling at a

<sup>1</sup> Rapport de conjecture 2010 du CNRS – section 10

<sup>2</sup> S. Samukawa *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **45** (2012) 253001

crossroad 15) Plasma diagnostics 16) Atomic and molecular data for plasma physics—challenges and opportunities. »

Un point commun à tous ces domaines et que quel que soit le type de plasma utilisé (plasma froid basse pression, plasma froid à pression atmosphérique, plasma thermique, ou plasma créé par laser) la tendance est à la complexité croissante des systèmes étudiés (interaction avec un liquide, matériaux multifonctionnels, systèmes diphasiques, échelles nanométriques, ...). Ainsi, pour relever ces défis « la communauté des plasmas froids française doit veiller à conserver **un bon équilibre entre recherches amont** s'appuyant sur des **diagnostics** et des **modèles** de plus en plus performants et sophistiqués, et leurs **applications**. »<sup>1</sup>

Cette recommandation de la section 10 du CNRS rentre en parfaite résonance avec les attentes et conclusions tirées de l'enquête réalisée à l'été 2014 auprès des membres du réseau, le désir exprimé concernant à la fois des besoins en « **cours fondamentaux de physique des plasmas** » à destination des personnels de laboratoire, en particulier ITA, des **ateliers de formations spécifiques aux technologies plasmas** (autour par exemple de la conception et l'utilisation d'un réacteur plasma, ou bien l'utilisation des technologies du vide, atelier pouvant être organisé conjointement avec le Réseau du vide), des ateliers autour de **diagnostics performants** devant à terme être déployés sur l'ensemble du territoire – utilisation des diodes laser, fonction de distribution en énergie des électrons, sonde électrostatique, spectroscopie de masse appliquée aux plasmas,... – des **cours sur les applications et potentialités des plasmas**, ainsi que des **ateliers spécifiques** à l'évolution des thématiques de recherche observée ces dernières années (chimie sur les poudres, matériaux nanos, plasma/médecine, modélisation multi-échelle,...) nécessitant pour la plupart le **croisement de notre communauté avec des communautés voisines** (astrophysique, chimie, biologie, mathématique,...).

Dans ce contexte, les actions futures du réseau viseront à **accompagner la communauté** sur les **travaux et outils de fond**, qui constituent « le cœur de la discipline », sur les **thématiques en forte expansion** à l'heure actuelle, mais également sur les sujets moins récents mais toujours d'**actualité**. Ces actions devront regrouper le **panel intergénérationnel** (des plus jeunes aux plus confirmés) et également permettre une **forte implication du personnel ITA**. Au-delà, le Réseau Plasmas Froids devrait ainsi « continuer à contribuer à maintenir **l'unité de ce domaine scientifique** malgré la diversité de ses applications »<sup>1</sup>.

## **b. Orientations / Stratégie de formation du réseau**

L'analyse de prospective précédente nous a permis de dégager trois thématiques sur lesquelles le réseau peut contribuer à accompagner la communauté dans les évolutions des prochaines années.

### **1. Applications et avancées dans le domaine des plasmas froids**

L'objectif est double en accord avec le public rencontré. Il faut tout d'abord accompagner la communauté dans les évolutions rencontrées dans ce domaine. Mais il faut aussi former les jeunes chercheurs ou IT sur les enjeux actuels.

Pour cela, les actions envisagées sont :

- **webséminaires**
- **réédition des ouvrages**
- **les journées**

## 2. Modélisation et données

Pour cette thématique, il est préférable de privilégier des sessions pratiques : **Ateliers (ANF) avec session de TP.**

Pour des besoins ponctuels, **les IPMCs** sont aussi un bon moyen de transférer des compétences rapidement sur un outil/ une méthode ...

En fonction des besoins, des exposés pédagogiques sont proposés lors **des journées.**

Nous souhaitons continuer de **collaborer avec le réseau Calcul.** Dans les années passées, un atelier avait été organisé en commun et des invitations aux journées ou à **des journées thématiques** sont toujours riches en enseignements.

## 3. Diagnostics et technologies plasmas

Le réseau essaie d'accompagner les évolutions dans le développement des outils technologiques et de diagnostics grâce à la **mutualisation des outils et plateformes et par des IPMCs.** Ils permettent de diffuser largement ces technologies auprès de tous et nous permettent de mettre en place des **ateliers (formations)** avec des sessions pratiques qui sont toujours très appréciés. Le pré-requis scientifique pour l'utilisation et l'exploitation de certains outils sera également abordé lors de **Webséminaires** ou lors des **journées.**

La collaboration avec d'autres réseaux, comme le RPV et FEMTO, est également à développer.

### a. Plan de Déploiement

Suivant les orientations décrites précédemment, le Réseau Plasmas Froids souhaite continuer le financement des IPMCs dont le succès ne se dément pas (3 demandes pour l'année 2015). Il s'engage également dans une démarche d'amélioration progressive de ses formations en proposant des actions de formations associant plus fortement cours théoriques et mises en pratique dans le but de toucher un plus large public qu'il soit scientifique ou technique avec des niveaux allant de l'initiation à la maîtrise. Le Réseau Plasmas Froids s'est également rapproché du Réseau du Vide pour rassembler et former les membres de ces deux communautés intéressés à la fois aux problèmes liés au vide et au dégazage, aux gaz corrosifs, aux mesures de pressions partielles et résiduelles, aux mesures de traces liées à l'ultravide.

D'un point de vue général, les actions de formation du réseau devront répondre aux objectifs pédagogiques suivants :

- Comprendre les caractéristiques spécifiques de chaque procédé
- Appréhender les méthodes de réalisation
- Favoriser les travaux pratiques
- Connaître l'impact des technologies
- Savoir identifier les limites des procédés et techniques abordés
- Répondre à des besoins pluridisciplinaires
- Rassembler les partenaires des plasmas froids et resserrer les liens nationaux, voire internationaux
- Construire un lien d'échange et technique
- Se positionner dans le cadre de la recherche française et gagner en visibilité

A l'horizon 2016-2018, le réseau proposera les actions de formations suivantes :

➤ **Intitulé : Journées de Rencontre du Réseau : Les plasmas dans le monde du nano**

Année de mise en œuvre : 2016

À quelle problématique va répondre la formation : permettre aux participants d'acquérir des compétences sur un domaine ou une technique et d'identifier les spécialistes en France. S'assurer du maintien de la connaissance dans les laboratoires par un transfert vers les jeunes chercheurs. Pour 2016, l'accent sera mis sur un domaine en constante évolution : les micro/nano-technologies. La grande majorité des laboratoires plasma est impliquée (à différents degrés) dans cette thématique et de réels besoins en formation existent autour de ce sujet. Il s'agira ainsi de dresser un état de l'art et de présenter les voies nouvelles de recherche "autour du nano" : l'utilisation des plasmas pour fabriquer des nano-objets et la création de micro/nano plasmas. Les échelles spatiales impliquées rendent cette thématique particulièrement difficile à explorer et nécessitent la maîtrise de concepts et d'outils de diagnostics très pointus.

Objectifs de formation : Permettre aux participants de retourner dans leur laboratoire en ayant les éléments théoriques et pratiques pour démarrer de nouvelles recherches ou avancer leurs travaux sur les thèmes abordés. Leur permettre d'identifier les spécialistes pour amorcer des contacts utiles pour leurs recherches. Renforcement des interactions entre les membres du réseau. Transfert de connaissances et de compétences. Suivi de l'état de l'art de la discipline et des thèmes émergents.

Public concerné : Ingénieurs, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS.

Modalités de formation : ANF mélangeant cours, travail en sous-groupes et temps d'échange.

Niveau : Initiation/Perfectionnement

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 2 ans

➤ **Intitulé : Spectrométrie de masse appliquée à l'analyse des plasmas (Fonds propres)**

Année de mise en œuvre: 2016

À quelle problématique va répondre la formation : donner aux utilisateurs potentiels les éléments pour « sauter le pas ». Développer l'expertise des utilisateurs non spécialistes. Faire le point sur les évolutions de la technique: évolution instrumentale, progrès dans l'analyse des données.

Objectifs de formation : Acquisition des principes de base (cours théoriques et mise en place de travaux pratiques), de connaissances techniques, technologiques ou scientifiques dans le domaine de la spectroscopie de masse appliquée à l'analyse des plasmas froids. Mise en alerte sur les pièges. Présentation d'utilisation avancée.

Public concerné : Ingénieurs, techniciens, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS

Modalités de formation : Atelier sur fonds propres mélangeant cours, TP, temps d'échange.

Niveau : Initiation et Maîtrise

Partenaires pressentis : Un équipementier, Réseau du vide



Commentaires : Atelier financé sur fonds propres. Le RTV propose un ou deux intervenants dans cette formation pour traiter de la mesure des pressions partielles et résiduelles, de la mesure de traces et les phénomènes liés à l'ultravide (pas de participation financière du RTV).

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 3 ans

➤ **Intitulé : Conception et utilisation d'un réacteur à plasma de type industriel**

Année de mise en œuvre : 2016

À quelle problématique va répondre la formation : donner aux stagiaires des connaissances aussi bien fondamentales que pratiques sur les techniques du vide au sens large (dimensionnement du réacteur et du module de pompage, design, etc). Développer l'expertise des utilisateurs non spécialistes. Demande forte de la part des ITA notamment.

Objectifs de formation : Acquisition de principes de base (non experts) et avancés (anciens participants à une précédente formation) de connaissances techniques, technologiques ou scientifiques dans le domaine de la conception et l'utilisation d'un réacteur à plasma froids de type industriel. Mise en alerte sur les pièges. Partage et retour d'expériences.

Public concerné : Ingénieurs, techniciens, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS.

Modalités de formation : ANF mélangeant cours, TP, temps d'échange.

Niveau : Initiation et Maîtrise

Partenaires pressentis : Un/des équipementier(s), Réseau du vide

Commentaires : Le RTV propose un ou deux intervenants dans cette formation pour réaliser une introduction sur le vide et/ou sur les problèmes liées au dégazage (pas de participation financière du RTV)

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 3 ans

➤ **Intitulé : Utilisation des diodes laser**

Année de mise en œuvre : 2017

À quelle problématique va répondre la formation : donner aux stagiaires des connaissances aussi bien fondamentales que pratiques sur cette technique de diagnostic plasma. Développer l'expertise des utilisateurs non spécialistes.

Objectifs de formation : Acquisition de principes de base (non expert) et avancés (anciens participants à une précédente formation), techniques, technologiques ou scientifiques dans le domaine des diodes lasers et de leur utilisation. Limites d'utilisation et comparaison avec d'autres techniques de diagnostics plasma. Mise en alerte sur les pièges. Partage et retour d'expériences.

Public concerné : Ingénieurs, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS

Modalités de formation : ANF mélangeant cours, TP, temps d'échange.

Niveau : Initiation et Maîtrise

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 3 ans

- **Intitulé : Fonctionnalisation de surfaces par plasma: techniques et applications**  
Année de mise en œuvre : 2017

À quelle problématique va répondre la formation : Les plasmas de laboratoire sont par définition contraints par des surfaces ou mis en contact volontairement avec des surfaces/objets à traiter. Cette interaction entre le plasma et les surfaces est relativement complexe et nécessite la maîtrise de nombreux concepts et d'outils de diagnostics originaux.

Objectifs de formation : Confrontation avec les difficultés des équipes de recherche sur l'interaction plasma surface et proposition de solutions. Acquisition de connaissances techniques, technologiques ou scientifiques dans le domaine de la fonctionnalisation de surfaces par plasma par la mise en place de travaux pratiques.

Public concerné : Ingénieurs, techniciens, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS.

Modalités de formation : ANF mélangeant cours, TP, temps d'échange.

Niveau : Initiation/Perfectionnement

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 3 ans

- **Intitulé : Modélisation des plasmas froids**  
Année de mise en œuvre : 2018

À quelle problématique va répondre la formation : donner aux utilisateurs potentiels les éléments pour entamer des modèles simples (1D), très utiles pour les plans d'expériences, la conception des diagnostics, le dimensionnement des procédés...

Objectifs de formation : aider les expérimentateurs ou jeunes chercheurs à utiliser des outils de simulation des plasmas froids ou à interagir avec des modélisateurs, approfondir les méthodes fluide et particulaire, les connaissances techniques, technologiques ou scientifiques dans le domaine de la modélisation des plasmas froids. Mise en alerte sur les pièges. Mise en place de travaux pratiques avancés.

Public concerné : Ingénieurs, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS.

Modalités de formation : ANF mélangeant cours, TP, temps d'échange.

Niveau : perfectionnement

Commentaires : Cette formation fait suite à celle organisée en 2015 (initiation)

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 2 ans

- **Intitulé : Journées de Rencontre du Réseau**  
Année de mise en œuvre : 2018

À quelle problématique va répondre la formation : permettre aux participants d'acquérir des compétences sur un domaine ou une technique et d'identifier les spécialistes en France. S'assurer du maintien de la connaissance dans les laboratoires par un transfert vers les jeunes chercheurs.

Objectifs de formation : Permettre aux participants de retourner dans leur laboratoire en ayant les éléments théoriques et pratiques pour démarrer de nouvelles recherches ou avancer leurs travaux sur les thèmes abordés. Leur permettre d'identifier les spécialistes pour amorcer des contacts utiles pour leurs recherches. Renforcement des interactions entre les membres du réseau. Transfert de connaissances et de compétences. Suivi de l'état de l'art de la discipline et des thèmes émergents.

Public concerné : Ingénieurs, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS.

Modalités de formation : ANF mélangeant cours, travail en sous-groupes et temps d'échange.

Niveau : Initiation/Perfectionnement

Action récurrente : Oui avec une périodicité de 2 ans

➤ **Intitulé : Les webinaires**

Année de mise en œuvre : En continu

À quelle problématique va répondre la formation : Accès à la formation pour le plus grand nombre et renforcer l'attractivité de la science des plasmas.

Objectifs de formation : Nouveaux supports pédagogiques en complément des Journées et des Ateliers.

Public concerné : Ingénieurs, chercheurs, doctorants et post-doctorants appartenant à une unité du CNRS.

Modalités de formation : Cours en ligne

Niveau : Initiation/Perfectionnement

Action récurrente : En continu

D'autres besoins ont déjà été recensés. Cependant nous n'avons pas encore à ce jour formulé de plan de déploiement. Parmi ceux-ci nous pouvons citer :

- **formation sur les bases des plasmas froids** qui s'adresserait aux jeunes chercheurs et personnels techniques démarrant leurs activités sur la thématique
- **ateliers sur l'utilisation de diagnostics plasma**