

INVENTER LES METAUX DU FUTUR...



Pour cette nouvelle interview de « Parlons Sciences ! », un trio de choc 😊 : Nathanaël (bientôt ex-président), Manon (vice-prez en passation) et Blandine (secrétaire bientôt à la retraite), est allé à la rencontre du professeur qui a donné le goût des Matériaux à nombres de CPéen(e)s... Nous avons nommé Monsieur Prima ! Mais, ses activités ne se limitent pas à la responsabilité du cours de Matériaux Métalliques en 2A et de l'UE « Choisir et architecturer les matériaux pour la ville durable » en 3A à Chimie ParisTech ! Bonne plongée dans le quotidien d'un chercheur responsable d'une équipe de recherche !

- **Le Cercle : Bonjour Monsieur Prima ! Merci d'avoir accepté de nous accorder cette interview. Pourriez-vous vous présenter en quelques mots ?**



Frédéric Prima

Source :

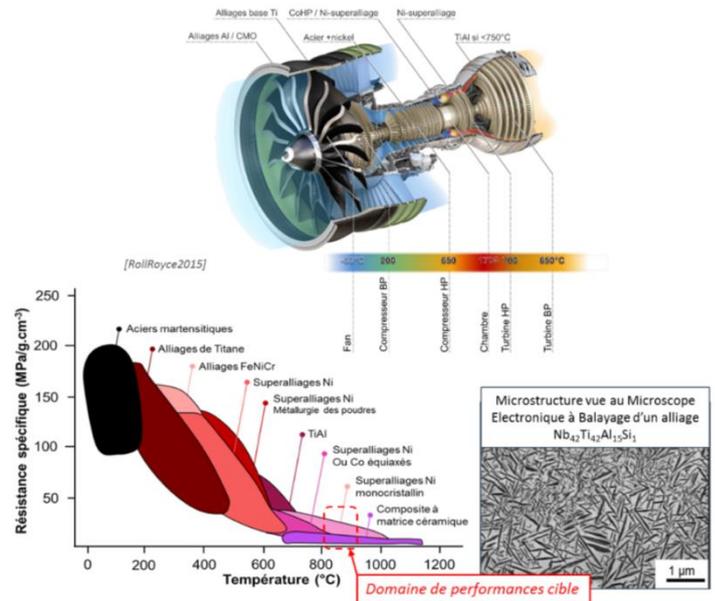
<https://www.researchgate.net/profile/Frederic-Prima/3>

Frédéric Prima : Bonjour à tous ! Je suis actuellement **professeur des universités à Chimie ParisTech et je suis responsable d'une équipe de recherche au sein de Institut de Recherche de Chimie Paris (IRCP)** qui est une **unité CNRS**. Mon groupe est l'équipe de « **Métallurgie Structurale** ». Je suis à Chimie ParisTech depuis le début de ma carrière d'enseignant-chercheur. Concernant mon parcours, je suis diplômé de l'**INSA Lyon (département SGM)** où j'ai suivi une formation généraliste en **science des matériaux**. J'y ai étudié les polymères, céramiques, semi-conducteurs, métaux... J'ai toujours voulu être chercheur, même si j'ai fait une école d'ingénieur. C'est pourquoi, en dernière année à l'INSA, j'ai commencé à teinter mon parcours du côté de la recherche en effectuant un **DEA** (ancien master) en mécanique des matériaux. Après une **année sabbatique** durant laquelle j'ai voyagé, j'ai voulu concrétiser ce souhait de faire de la recherche en commençant une **thèse** dans un laboratoire de **métallurgie** à l'INSA de Rennes. C'est cette même thèse qui m'a incité à poursuivre dans le domaine de la métallurgie au cours d'un **post-doc** de 2 ans au département des matériaux de l'Université d'**Oxford** pour

effectuer de la recherche fondamentale sur une nouvelle famille de matériaux (verres métalliques). Pour ce séjour en Angleterre, j'ai obtenu une bourse de l'Union Européenne. En effet, pour ceux que cela intéresserait, sachez que les jeunes docteurs peuvent facilement aller passer un séjour à l'étranger pour une certaine durée dans le cadre d'un postdoc. Cela s'est révélé, dans mon cas, une expérience extrêmement enrichissante dans une grande université avec beaucoup de moyens et dans un contexte très dynamique de collaborations internationales. J'ai eu un **premier contact avec Chimie Paris** au cours de ma thèse, en collaborant à l'époque avec le laboratoire qui m'a finalement recruté en tant qu'enseignant-chercheur quand je suis rentré d'Angleterre. Il y a peu de postes d'enseignants-chercheurs, j'ai donc pu bénéficier d'une excellente opportunité, à ce moment-là. Depuis, je n'ai plus quitté l'école. J'ai par la suite un peu évolué en devenant Professeur qui est mon poste actuel à l'école et responsable d'équipe. Pour résumer : après des études généralistes dans les matériaux, je me suis spécialisé dans les métaux au cours de ma thèse, et aujourd'hui **j'enseigne principalement à des chimistes, même si ma formation initiale est beaucoup plus proche de la physique ou de la mécanique !**

- **L. C. : Pouvez-vous nous expliquer, nous faire découvrir sur quoi portent vos recherches ?**

F.P. : Du point de vue de mon équipe qui fait partie d'une unité de recherche (**UMR**) **CNRS**, nous sommes **10 membres permanents (chercheurs et enseignants-chercheurs, dont certains sont aujourd'hui émérites) et environ 8 doctorants** avec lesquels nous travaillons sur différents axes de recherche. Le principal étant le développement de **matériaux innovants** avec des propriétés avancées mais avec une approche singulière : nous partons de **propriétés cibles**, en réponse aux nombreux besoins sous-jacents au domaine d'application du matériau, puis nous jouons sur plusieurs leviers, tels que la composition chimique, la microstructure (*ce que les 2A voient dans le cours de Matériaux Métalliques est très simplifié mais une bonne introduction*) ou encore le procédé d'élaboration ! Si chercher à obtenir une propriété unique n'est généralement pas compliqué, atteindre une **combinaison de propriétés parfois antagonistes** complexifie bien évidemment grandement les choses ! C'est actuellement la problématique de l'aéronautique, par exemple, où on veut des matériaux à la fois légers et résistants aux hautes températures. Ces recherches nous ont amenés à **découvrir** certaines **familles de matériaux** et de déposer en conséquence des **brevets** en collaboration avec certains de nos **partenaires industriels**. Ces partenaires sont aujourd'hui principalement répartis dans deux grands secteurs : **l'aéronautique et le biomédical** avec lesquels nous partageons nos résultats depuis plus de 10 ans. Sur ces recherches, nous faisons le plus souvent en sorte de mettre en place des **collaborations pérennes, c'est à dire sur le long terme**.



Illustrations concernant les alliages réfractaires pour les applications hautes températures.

Source : <https://www.ircp.cnrs.fr/la-recherche/equipe-ms/conception-et-developpement-dalliages-innovants/>

A NE PAS MANQUER : illustrations de la démarche de recherche en Métallurgie Structurale à la fin de l'interview !

- **L. C. : Il y a de nombreux doctorants au sein de votre équipe...**

F.P. : En effet, et c'est une **chance** ! Les **doctorants** font une grande partie de la vie du labo et participent activement aux collaborations, qu'elles soient académiques ou industrielles. Concernant les financements des bourses de thèses, il y a **actuellement beaucoup de thèses CIFRE** (financées par des organismes privés) et malheureusement de moins en moins de thèses financées par nos tutelles, c'est à dire par l'État. La présence des jeunes chercheurs est essentielle pour le bon fonctionnement d'une équipe. De fait, lorsqu'on avance dans la carrière, en tant qu'enseignant-chercheur, on se retrouve parfois grandement accaparé par des missions plus organisationnelles qui peuvent parfois nous éloigner de la « paillasse ». A mon sens, il est **important de rester proche de la recherche car je pense que ça reste, avec l'enseignement, le cœur de notre métier**. C'est, en tout cas, un objectif que je me suis fixé personnellement.

- **L. C. : Pouvez-vous nous en dire plus sur le métier de chercheur et ce qui vous a motivé à vous engager dans cette voie ? Qu'est-ce qui vous plaît le plus ?**

F.P. : Ce qui me plaît le plus, c'est la recherche et plus particulièrement le fait qu'une des dimensions importantes qui lui est liée repose sur la formation de jeunes chercheurs. Encadrer une thèse, c'est aussi faire de la **formation par la recherche**. Nous prenons en thèse de bons étudiants, et l'enjeu principal qui nous incombe est d'en faire aussi de bons chercheurs. Ils sont évidemment amenés à réinjecter des connaissances académiques (comme de bons étudiants, donc !) mais doivent aussi apprendre à **se poser les bonnes questions, à développer une approche scientifique critique et rationnelle ou encore à synthétiser un grand nombre de données**. Ce sont des compétences complémentaires à ce qu'on apprend sur les bancs de l'université. Faire une thèse est donc un exercice où on apprend

énormément de choses. On doit conduire un projet de A à Z, avec toutes les dimensions et les exigences que ça comporte et accompagner tout ce parcours est un des aspects de mon métier que je préfère.

Pour mes motivations plus personnelles, comme je vous l'ai dit, j'ai su assez tôt dans ma formation que je voulais devenir chercheur car l'idée de **découvrir et d'inventer des choses nouvelles me plaisait dès le début**. Je n'avais bien sûr, à l'époque, qu'une idée assez naïve de ce qu'était la recherche mais disons que ça correspondait à la vision intuitive que je pouvais me faire de ce métier. Au final, et par chance, cela s'est relativement bien concrétisé dans ma carrière de chercheur, dans l'ensemble. Néanmoins, il faut quand même être conscient que le métier de chercheur est aussi confronté à un jeu de contraintes qu'il faut prendre en compte, notamment sur le sujet du financement de votre recherche ou de l'intégration à un environnement de recherche. Faire de la bonne recherche demande des moyens financiers et humains. Cela reste aussi une aventure collective et lorsqu'on devient responsable d'un groupe, je pense que l'enjeu tient aussi à la capacité à entraîner les autres, sur un projet, des idées, une trajectoire... Ce n'est pas toujours aussi facile qu'on peut l'imaginer.

- **L. C. : Vous avez évoqué la recherche de financements. Cela fait-il partie de vos attributions en tant que responsable d'une équipe de recherche ?**

F.P. : Cela dépend des laboratoires. Personnellement, je m'occupe beaucoup du financement pour décharger l'équipe que j'encadre de cette contingence. **Intéresser les gens avec nos projets et trouver des financements demande beaucoup de temps !** En France, la recherche est moins bien financée par les tutelles qu'il y a 15 ou 20 ans. Elle repose aujourd'hui en grande partie sur une logique de financement par réponse à des **appels à projets** (appels de l'Agence Nationale pour la Recherche, ou la communauté européenne, par exemple) qui sont généralement très sélectifs (10 à 15% de taux de réussite, parfois même moins !). Par conséquent, la part des acteurs privés (comme les entreprises) dans le financement de la recherche a notablement augmenté ces dernières années. Pour ma part, je considère que c'est une chance et une richesse de travailler en partenariat avec les entreprises. C'est souvent l'occasion d'aborder un problème scientifique particulier par différents angles. Il est satisfaisant de voir des technologies issues de laboratoires académiques utilisées « dans la vraie vie » par des partenaires industriels, c'est le vecteur de l'innovation. Ce qui devient en revanche parfois difficile c'est de faire financer des projets plus fondamentaux ou plus risqués. Il faut se souvenir que la recherche, et par extension **le chercheur, a également pour rôle de faire progresser les connaissances et d'enrichir les savoirs** d'une **communauté**. Il me paraît très important de créer les conditions pour que cette recherche, qui n'implique pas forcément de « retours sur investissement » financiers ou économiques immédiats, puisse continuer à être financée d'une façon ou d'une autre.

Ainsi, comme vous le comprenez, la recherche de financements occupe une place conséquente dans le quotidien d'un chercheur mais **le cœur du métier reste le même : découvrir et innover**. Ainsi, pour ce qui me concerne, même si mon métier a changé, mon goût de travailler sur des choses nouvelles est resté le même !

- **L. C. : Super ! Quel message voudriez-vous transmettre aux étudiants ?**

F.P. : Mon message pour les étudiants ? Ce serait de **croire en la formation par la recherche**, de manière générale, que cela soit dans votre formation ou votre travail. En effet, on ne prend pas le temps de bien comprendre les choses car il faut répondre à un ensemble de contingences notamment en termes de timing. **Faire une thèse, c'est conduire un projet de A à Z : c'est votre bébé !** Peut-être le seul projet qui portera votre nom ! (*Rires*) C'est une **occasion extraordinaire et unique, même pour ceux voulant travailler dans l'industrie**. On est confronté à de nombreux problèmes mais on apprend énormément durant cette période. Un petit conseil d'ailleurs... Vous choisirez votre thèse en vous appuyant sur différentes raisons pas forcément scientifiques d'ailleurs, mais sachez que le **choix de la thèse** que vous ferez est **important** : bien qu'on puisse avoir des sujets très ouverts, cela enferme tout de même dans un champ scientifique spécifique. Mais si vous êtes intéressés par la recherche, franchement, faire une thèse, c'est bien !

- **L. C. : Merci beaucoup pour cet échange passionnant ! Un mot pour conclure ?**

F.P. : **Croyez en la recherche !** Oh et... au passage : **faire de la métallurgie, c'est vraiment bien ! Venez !! on vous attend ! ;-)**



Dans une prochaine publication, nous vous proposerons un focus sur les THESES grâce à un échange passionnant avec deux chercheuses de l'équipe de Métallurgie Structurale : Lola et Stéphanie. Elles nous ont d'ailleurs transmis pour vous une très belle présentation de la démarche de recherche en métallurgie que nous vous transmettons et qui illustre bien leurs travaux.

A très vite !

Le Cercle de Chimie Paristech - PSL



LES MANIPS DU QUOTIDIEN AU LABORATOIRE DE MÉTALLURGIE STRUCTURALE

STÉPHANIE DELANNOY ET LOLA LILENSTEN
POUR LE CERCLE
FÉVRIER 2021

LA DÉMARCHE DE RECHERCHE



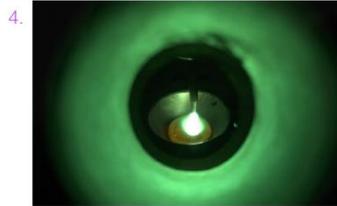
Notre but est de comprendre ce qui lie la chimie de l'alliage, sa microstructure et ses propriétés. Ainsi, des alliages plus performants peuvent être développés.

Cette démarche s'appuie principalement sur des expériences et leur interprétation, mais aussi sur des couplages avec de la modélisation thermodynamique ou mécanique entre autres, via des collaborations.

<https://www.ircp.cnrs.fr/la-recherche/equipe-ms/>

1) FABRIQUER LES ALLIAGES

- Fusion et mélange des métaux purs au four à arc



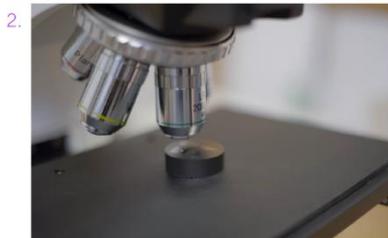
1. Photo du four, avec le générateur à droite
2. Opératrice sur le four
3. Métaux purs disposés dans le four, avant fusion
4. Métal en fusion: la partie très lumineuse correspond à l'arc électrique entre l'électrode (en haut, pointue) et le lingot en fusion (petit palet orange).

2) LES METTRE EN FORME

- Etapes de traitements thermo-mécaniques : laminage (à chaud ou à froid) et traitements thermiques (four, sous atmosphère ou pas)

3) LES CARACTÉRISER

- Préparation des échantillons puis les caractériser

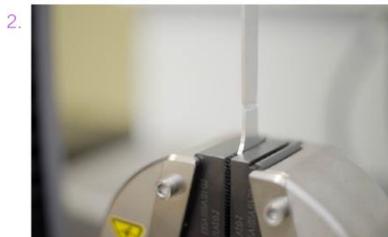
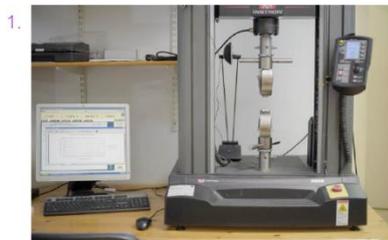


1. Polissage d'un échantillon
2. Observation d'un échantillon enrobé au microscope optique
3. Installation d'un échantillon dans le MEB (Microscope électronique à balayage)
4. Préparation d'un échantillon pour la DSC

Mais aussi: DRX (en plateforme), résistivité, microscopie électronique en transmission, analyses chimiques (EDX)

4) LES TESTER

- Préparation des échantillons puis les caractériser



1. Machine de traction 10kN (petites éprouvettes)
2. Rupture d'un échantillon de traction
3. Machine de traction 30kN (grandes éprouvettes), peut fonctionner à chaud.

Mais aussi: microindentation

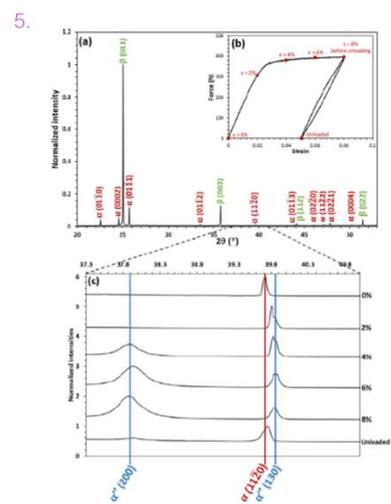
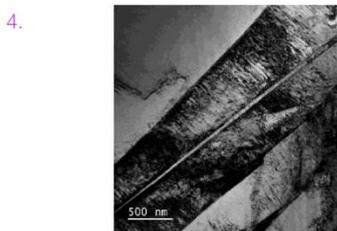
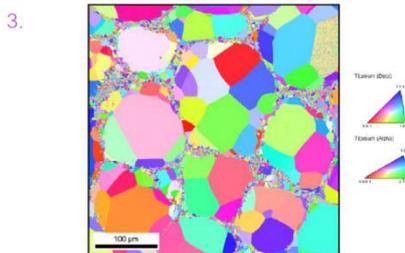
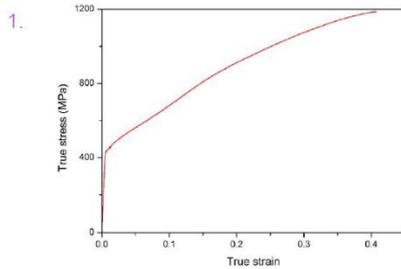
4) LES TESTER/LES COMPRENDRE

- Préparation les échantillons puis les caractériser



1. Machine de traction pour faire des essais mécaniques dans le MEB : installation d'un échantillon
2. Machine de traction avec échantillon dans la chambre du MEB
3. Mini-éprouvette de traction pour faire des essais dans le MET
4. Porte-échantillon de traction (et possibilité chauffage) dans le MET

5) EXEMPLES DE RÉSULTATS



1. Une courbe de traction
2. Microscopie optique: précipitation d'une phase aux joints de grain (phase sombre)
3. Microstructure harmonique (distribution bimodale de taille de grains) imagée par EBSD (la couleur traduit l'orientation locale)
4. Visualisation au MET de microstructures déformées
5. Analyses de DRX montrant la formation de phases sous contrainte