

NanObs

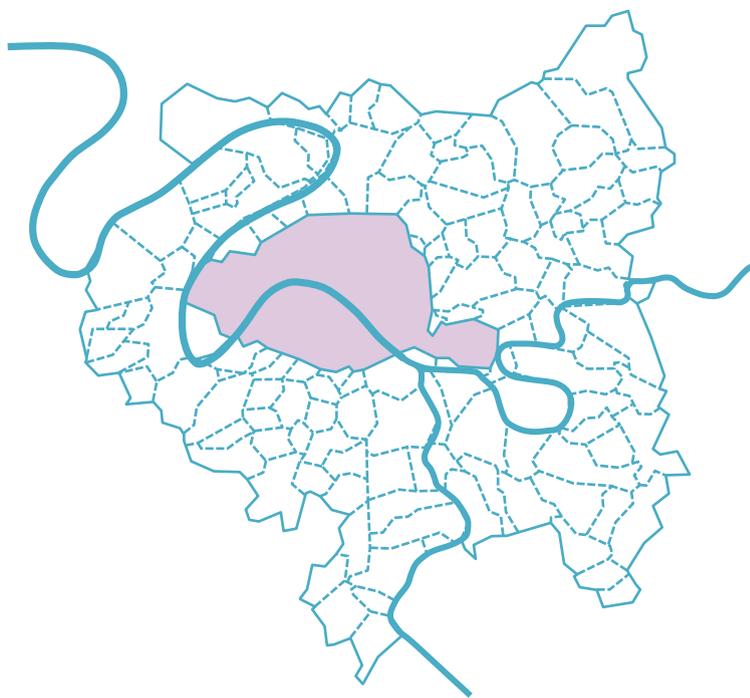
L'Observatoire des nanoparticules du Grand Paris



Tracer les sources de pollution
pour réduire les risques toxicologiques

NanObs

L'Observatoire des nanoparticules du Grand Paris





Les nanoparticules, une préoccupation exacerbée dans les zones urbaines

L'Observatoire Urbain Participatif des Nanoparticules (*NanObs*) est un projet porté par l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) et par la Fondation Université de Paris.

Il répond à notre responsabilité collective vis-à-vis des questions clefs que doivent affronter nos sociétés face aux grands changements environnementaux en cours.

Au mois d'octobre 2018, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) alertaient simultanément la communauté internationale sur l'impact dévastateur de la pollution de l'air, qui cause le décès de **600 000 enfants chaque année dans le monde**, en particulier à cause des concentrations élevées en particules fines et ultrafines. La diffusion et l'accumulation de nanomatériaux inhalés et ingérés dans l'ensemble de l'organisme joueraient un rôle majeur dans le développement de certaines pathologies cardiaques ou du système nerveux central.

Créer un observatoire pour détecter, quantifier et tracer la répartition des nanoparticules

Les particules fines d'origine humaine ont des effets délétères sur la santé, ainsi que sur la qualité de l'environnement et des écosystèmes. L'objectif de ce projet est de créer un observatoire des nanoparticules dans l'agglomération parisienne, seule mégapole d'Europe occidentale (10 MHab.).

Il permettra, pour la première fois, **d'acquérir des données inédites** sur les émissions par l'homme de nanoparticules métalliques dans l'air, l'eau et le sol en milieu urbain avec un maillage spatial fin et à large échelle temporelle.

Ce projet est par essence transdisciplinaire avec deux fortes composantes que sont la **Recherche et le Développement** d'une part et **l'implication des citoyens** d'autre part au travers d'actions de science participative.

De nombreux verrous limitent aujourd'hui la compréhension des effets des nanoparticules sur la santé, tels que le manque de données sur leur composition chimique ou encore la variabilité spatiale et temporelle de leurs concentrations en nombre et leur distribution en taille. Cependant, il n'existe à l'heure actuelle aucun instrument permettant de mesurer l'ensemble de ces paramètres pour les nanoparticules métalliques dans tous les compartiments naturels (air, eau, sol).

Pour répondre aux défis de la société face aux changements globaux en cours, la création de l'Observatoire Urbain des Nanoparticules permettra, pour la première fois, de lever les verrous scientifiques et techniques et de détecter, quantifier et tracer la répartition des nanoparticules d'origine humaine en zone urbaine, par la combinaison :

- **De capteurs passifs originaux** permettant la collecte des NPs dans l'air, l'eau et le sol. Les écorces des milliers d'arbres urbains sont considérées comme autant de capteurs passifs, ce qui permet la collecte des NPs à proximité des axes routiers ainsi que dans des zones supposées moins exposées telles que les parcs et les cours d'écoles;
- **D'une combinaison unique dans le monde de techniques analytiques innovantes**, telles que la spectrométrie de masse à source plasma en mode comptage de particules¹, couplées à des mesures de propriétés magnétiques et des techniques d'analyses microscopiques et géochimiques;
- D'une approche spatio-temporelle inédite fondée sur **l'implication forte de citoyens dans la collecte des échantillons**. Ces **actions de science participative** seront animées par des conférences éducatives et des colloques de restitution afin d'assurer l'implication de tous les acteurs tout au long du processus.

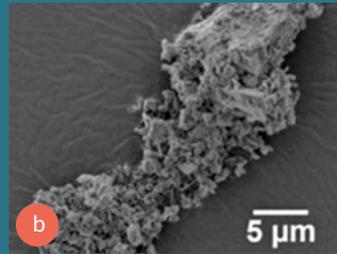


¹spICPMS et spICP-ToF-MS : Spectromètre de Masse à Plasma Induit utilisé en mode comptage de nanoparticules uniques; avec ou sans séparation des ions par temps de vol, permettant la détection simultanée des ions issus d'une même particule. Cf norme ISO : www.iso.org/fr/standard/65419.html

Des SOURCES multiples et présentes partout

Depuis des millions d'années, des **processus naturels** tels que l'activité volcanique, l'érosion éolienne et les incendies de forêt peuvent produire des nanoparticules. Même certains processus microbiens peuvent produire des nanoparticules (NPs, i.e. une dimension < 100 nm) inorganiques dans l'environnement.

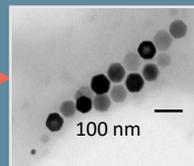
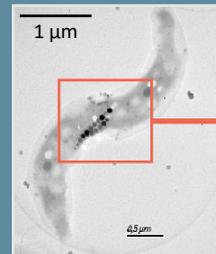
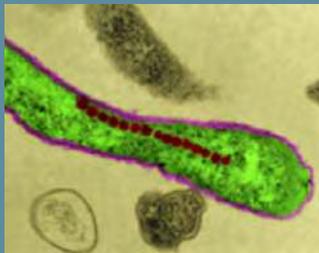
■ ORIGINES NATURELLES GEOGENIQUES



a) Eyjafjallajökull volcanic eruption in Iceland in April 2010 (image courtesy of Carolyn Kaster).

b) Image obtained using scanning electron microscope (SEM) showing aggregates of NPs from fresh explosive ash after the Eyjafjallajökull volcanic eruption. Image courtesy from Gislason et al. (2011).

■ ORIGINES NATURELLES BIOGENIQUES



Organisms in the nanoscale range or producing solid-state nanoscale debris.

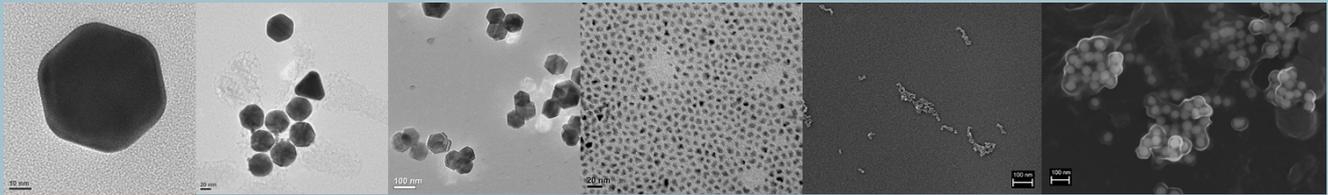
Images courtesy of A. Isambert/N. Menguy

■ ORIGINES HUMAINES INCIDENTELLES



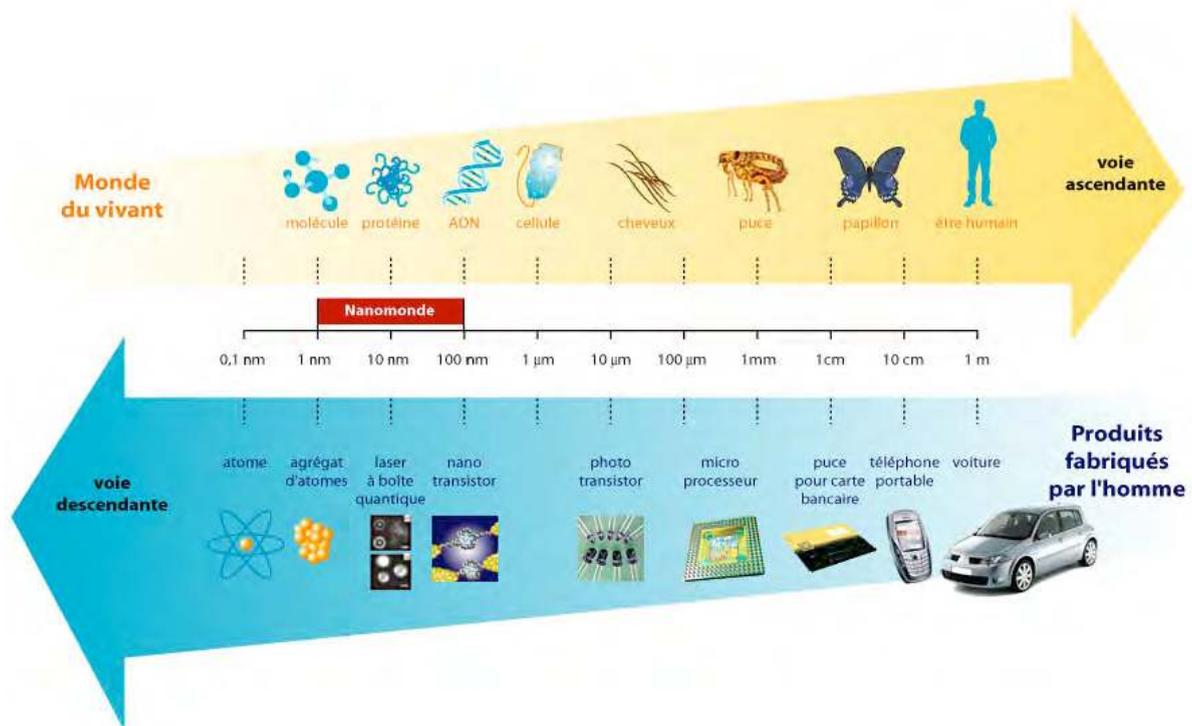
Human activities producing incidental nanoparticles. Sources Internet

■ ORIGINES HUMAINES MANUFACTUREES



Man-made gold nanoparticles and quantum dots

Cependant, d'autres sources que les nanoparticules naturelles sont apparues avec le développement des activités humaines, notamment à partir de la Révolution Industrielle (fin du XIX^{ème} siècle). Parmi les **nanoparticules d'origine humaine**, on peut distinguer celles libérées de manière **non intentionnelle** dans l'environnement : provenant des activités industrielles (mines, raffineries, fonderies, bâtiments) ou domestiques et de la combustion des énergies fossiles. Enfin, l'essor des nanotechnologies a conduit depuis 15 ans au développement de **nanoparticules manufacturées**, dont la grande majorité sont constituées de métaux (fer, cadmium, plomb) de métalloïdes (arsenic), ou encore de leurs oxydes (oxyde de titane et de zinc), en raison des propriétés spécifiques qu'elles présentent. Ces propriétés exceptionnelles conduisent à leur incorporation à un nombre croissant de produits courants (i.e. agents contrastants en imagerie médicale, semi-conducteurs en électronique ou encore filtres UV dans les crèmes solaires).



Un risque toxicologique pour l'environnement et la santé humaine

Les applications industrielles inédites et l'ubiquité des nanoparticules d'origine humaine déclenchent **de nombreuses inquiétudes sociétales et politiques** en raison de leur inévitable dispersion dans le milieu naturel et en conséquence de l'exposition directe ou indirecte de l'homme. Elles peuvent, suite à un déversement accidentel ou par lessivage de l'atmosphère, des sols ou des surfaces contaminées, se retrouver par ruissellement dans les eaux de surface. Par l'intermédiaire du cycle naturel de l'eau, le transport des nanoparticules et des polluants potentiels fixés à leur surface est également facilité. De nombreuses études tendent à démontrer **que les nanoparticules présentent à la fois un risque écotoxicologique** suite à leur dispersion et dégradation dans l'environnement **et un risque toxicologique** pour la santé humaine, même si un consensus du point de vue de leur toxicité est difficilement atteint.

L'Agence Européenne de l'Environnement estime à **74% la proportion de la population de l'UE exposée à des concentrations supérieures aux normes fixées par l'OMS** ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les particules $>2.5 \mu\text{m}$). Or, aucune norme n'existe à l'heure actuelle concernant l'exposition aux Particules UltraFines (PUFs = NPs atmosphériques). C'est pourquoi l'Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES) préconise depuis Juin 2018 la mise en place d'une « *surveillance réglementaire nationale pour treize nouvelles substances non réglementées présentes dans l'air ambiant et recommande une surveillance accrue [...] pour les NPs atmosphériques.* ». Dans ce contexte, certaines collectivités (Londres, Paris) expérimentent des actions pour limiter l'exposition aux polluants des citoyens et d'autres proposent même à leurs citoyens de s'approprier les enjeux en mesurant par eux-mêmes la qualité de l'air (Projet Ambasad'Air à Rennes, Mocit'Air à Grenoble).



Mieux détecter et caractériser

Le cycle de vie dans l'environnement de cette nouvelle classe de micropolluants doit être défini avec précision afin d'évaluer son impact potentiel.

Cependant, de nombreux verrous limitent aujourd'hui la compréhension des effets des nanoparticules sur la santé, tels que le manque de données sur leur composition chimique ou encore la variabilité spatiale et temporelle de leur concentration en nombre et leur distribution en taille.

Il n'existe à l'heure actuelle aucun instrument permettant de mesurer l'ensemble de ces paramètres pour les nanoparticules dans l'environnement. Les efforts récents menés aux niveaux francilien et national pour la surveillance de la qualité de l'air, couvrent une large gamme de polluants mais seule une poignée d'instruments permet le comptage de particules ultrafines en temps réel, sans maillage et sans caractérisation élémentaire (www.airparif.asso.fr/particules-ultrafines).

Parallèlement, la majorité des centres urbains comportent des milliers d'arbres dans les rues, parcs et écoles (environ 200.000 à Paris *intramuros*), pour la plupart des platanes ayant la particularité de perdre périodiquement leurs écorces. Celles-ci ont la capacité d'accumuler à leur surface les différents polluants et particules atmosphériques et peuvent donc servir d'outil d'enregistrement de la qualité de l'air, garantissant un maillage fin du territoire. **Les écorces des milliers d'arbres urbains sont ici considérées comme autant de biocapteurs passifs**, ce qui permet la collection des nanoparticules à proximité des axes routiers ainsi que dans des zones plus à l'écart telles que les parcs et les écoles, avec une résolution spatiale très élevée.

En complément des techniques de caractérisation microphysiques et géochimiques dites « classiques », **des techniques innovantes** permettent leur détection et la mesure de leurs signatures chimiques. En couplant à cela les mesures de propriétés magnétiques dont le développement est en plein essor, la détermination de leur origine (humaine ou naturelle), jusqu'à présent limitée, sera rendue possible.

Les porteur.e.s du projet

Au sein de l'Institut de Physique du Globe, Yann Sivry, Mickaël Tharaud, Sophie Coural et Marc Benedetti sont des géochimistes qui se focalisent sur l'étude de l'impact humain sur les cycles biogéochimiques des éléments métalliques à la surface terrestre. Leurs travaux récents portent sur la détection et le devenir des nanoparticules dans l'environnement. Aude Isambert est géophysicienne et étudie le magnétisme environnemental et le magnétisme des roches.

Christine Franke est géophysicienne et sédimentologue, à MINES ParisTech Université PSL. Elle travaille au développement des traceurs physico-chimique des particules dans les milieux (géosystèmes) air-eau-sol.

Au sein de Sorbonne Université, Claire Carvalho est géophysicienne, ses travaux portent sur l'étude des propriétés magnétiques des oxydes de fer, en particulier ceux présents dans la nature. Laure Turcati est spécialiste des sciences et recherches participatives, elle coordonne le projet de recherche PartiCitaE, un observatoire participatif de l'environnement urbain.



Une recherche participative d'ampleur

L'observatoire repose sur des actions de science participative et requiert l'implication d'un réseau de citoyens.nes individuel.les ou issu.es de collectivités identifiées (établissements scolaires, universités, associations et comités de quartiers, résidences pour séniors, établissements carcéraux, volontaires indépendants, établissements médico-sociaux, entreprises de la TPE aux grands groupes) du Grand Paris.

Il a déjà été initié des collaborations avec des établissements scolaires (Lycée François Ier, Fontainebleau) et des universités (Université de Paris, Sorbonne Université, Université PSL). Une partie des élèves et étudiant.es sensibilisé.es sont dès à présent mobilisé.es dans cette collecte participative : depuis 2020, un module d'enseignement d'Université PSL, basé sur les mesures magnétiques appliquées à la qualité de l'air permet aux étudiant.e.s d'être impliqués dans le projet.



Les collectivités et entreprises territoriales joueront un rôle essentiel : leur appui est indispensable pour le choix des sites et le déploiement de capteurs sur certains sites déjà instrumentés. Ainsi, les Volontaires de Paris avec l'appui logistique du Pôle Qualité de l'air de la ville de Paris et AirParif sont déjà partenaires et le projet doit fédérer d'autres acteurs locaux tels que la Région Ile-de-France, le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne, la SYCTOM (l'agence métropolitaine des déchets ménagers), la RATP, la SNCF ou encore l'ADEME.

Des campagnes d'échantillonnages

massives et étendues

Les campagnes d'échantillonnage d'eau, de sols et de particules atmosphériques en milieux urbains seront réalisées par ces acteurs et permettront d'élargir fortement le réseau des mesures et d'obtenir des données **sur un espace géographique étendu et sur un nombre accru d'échantillons** (objectif 4000) mais aussi **d'impliquer les citoyen.ne.s** dans la réalisation même de la science afin de les sensibiliser à la méthode et aux démarches scientifiques. En parallèle, **des campagnes d'échantillonnage menées par les scientifiques** assureront la collecte à *minima* du nombre et la localisation d'échantillons critiques permettant au projet d'aboutir.

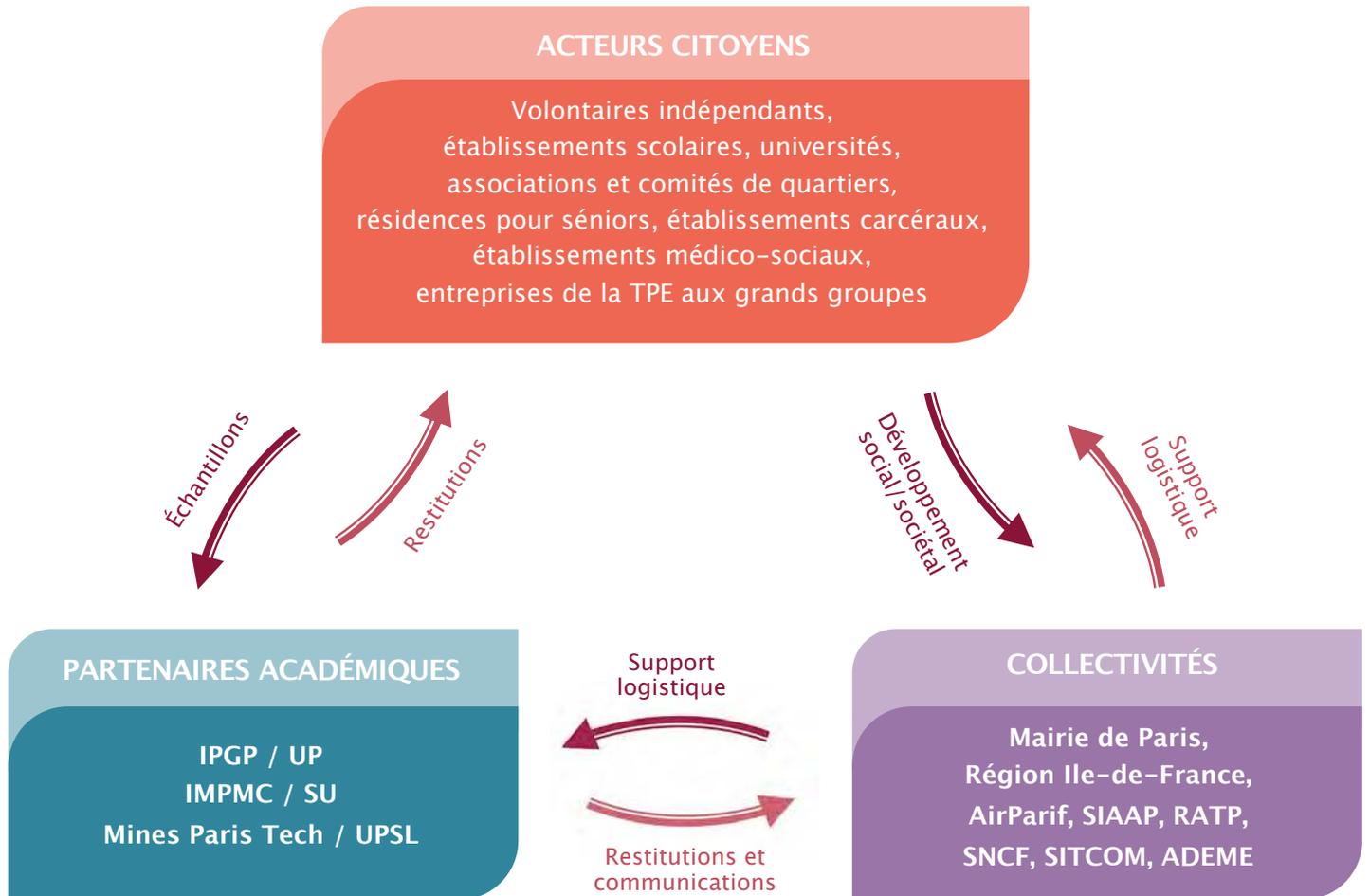
Le prélèvement d'écorces d'arbres (capteurs passifs) sera réalisé tous les printemps. Ces prélèvements sont en effet rapides et faciles à mettre en œuvre, à la portée du plus grand nombre. Un kit de prélèvement, constitué d'un sac de type congélation permettant de récupérer les écorces et d'une fiche descriptive recueillant les informations nécessaires à l'analyse ultérieure sont mis à disposition des participants. Les fluides (eaux de ruissèlement sur chaque site ou collecteur d'eaux type déversoir d'orage) seront prélevés en début et fin de longues périodes de sécheresse et de pluie. Les sols urbains seront prélevés une fois par année sur la durée du projet.

Pour favoriser l'implication des volontaires, **des ateliers de collecte** (sols – eaux – écorces) ouverts à tous seront organisés sur le terrain. Ils permettront de présenter les méthodes de prélèvement et de favoriser les échanges avec les chercheur.es impliqué.es.

En parallèle, les mêmes échantillonnages pourraient être réalisés avec des établissements scolaires proches des observatoires volcanologiques de l'IPGP à la Guadeloupe, la Martinique et la Réunion pour la collecte et la caractérisation de nano-objets naturels (cendres volcaniques et aérosols désertiques provenant d'Afrique).

Afin de faciliter cette mobilisation, il s'agira de s'appuyer sur le réseau existant via PartiCitaE², qui touche des associations en lien avec l'environnement et le Pôle Environnement de la mairie de Paris.





Un observatoire au carrefour

de nombreuses disciplines

Depuis une dizaine d'années, l'IPGP mène des recherches sur la compréhension des processus contrôlant le devenir des nanoparticules manufacturées dans l'environnement.

Ces activités font l'objet de collaborations régulières dans et en-dehors d'Université de Paris, par exemple :

- L'étude physicochimique des nanoparticules avec « Matière et Systèmes Complexes » (MSC) ou encore au sein du « Laboratoire Interface, Traitement Organisation et Dynamique des Systèmes » (ITODYS);
- La compréhension de leurs interactions avec le vivant, avec le laboratoire Biologie Fonctionnelle & Adaptative » (BFA);
- La détection de particules magnétiques dans les écorces; dans le cadre du projet Ecorc'Air² avec Sorbonne Université, l'OSU Ecce Terra et Mines ParisTech.

Ces études passées ou en cours, ont mis en évidence la nécessité de créer un Observatoire Urbain des Nanoparticules - NanObs, pour identifier les différentes sources de nanoparticules.

Celui-ci permettra d'apporter des réponses concrètes sur les effets sanitaires des nanoparticules identifiées, que ce soit sur le volet thérapeutique ou sur le volet prévention. L'originalité de ce projet repose sur sa pluridisciplinarité : NanObs sera le carrefour de collaborations scientifiques, médicales, sociales, économiques et socio-politiques.

Des outils pour animer la communauté de participants et le grand public

- Une série de conférences sur le thème « Risques pour l'environnement et la santé des nanoparticules et nanomatériaux » en lien avec les relais du projet;
- Propositions de sorties collectives de prélèvements entre scientifiques et acteurs citoyens;
- Co-construction avec les participants d'un outil numérique de restitution automatique des données, sous forme d'une carte interactive par exemple;
- Conférence de restitution des résultats ouverte aux participants et à un plus large public;
- Co-production avec les participants d'un document écrit de restitution des résultats.

²Ecorc'Air - PartiCitaE : www.particitae.umpc.fr/fr/ecorcair.html

À Propos de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) :



Organisme de recherche en géosciences de renommée mondiale, l'IPGP étudie la Terre et les planètes depuis le noyau jusqu'aux enveloppes fluides les plus superficielles au contact de l'homme et de son environnement, à travers l'observation, l'expérimentation et la modélisation. Ses 16 équipes de recherche travaillent ensemble sur les quatre grandes thématiques de l'institut : Intérieurs de la Terre et des planètes, Risques naturels, Système Terre et Origines.

En savoir plus : www.ipgp.fr

À Propos d'Université Paris Cité :



Université de recherche intensive pluridisciplinaire, Université Paris Cité se hisse au niveau des établissements français et internationaux les plus prestigieux grâce à sa recherche de très haut niveau, ses formations supérieures d'excellence, son soutien à l'innovation et sa participation active à la construction de l'espace européen de la recherche et de la formation. Université Paris Cité compte 64 000 étudiants, 7 250 enseignants-chercheurs, 21 écoles doctorales et 138 laboratoires de recherche.

En savoir plus : www.u-paris.fr

À Propos de la Fondation Université Paris Cité :



Soutenir et développer l'impact sociétal de notre université est la mission première de la Fondation Université Paris Cité. Les partenaires et mécènes de la Fondation contribuent par leur soutien à accélérer la recherche, dynamiser l'économie et diffuser les savoirs. Ceci afin de transformer notre monde et de le préparer aux grands bouleversements qui le touchent.

En savoir plus : www.fondation-uparis.org

Gérard FRIEDLANDER
Délégué général
gerard.friedlander@u-paris.fr
01 76 53 20 12

Julien NO MURA
Responsable Levée de fonds
julien.no-mura@u-paris.fr
01 76 53 20 16 - 06 20 09 31 16



www.fondation-uparis.org