

Proposition de sujet de thèse 2026

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr
*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé * : Evaluation intégrée de la composition chimique et de la quantification des sources des particules fines atmosphériques à l'aide de techniques de mesure en ligne et hors-ligne en milieu urbain et industriel.

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail *: WORTHAM Henri, henri.wortham@univ-amu.fr; CHAZEAU Benjamin, benjamin.chazeau@univ-amu.fr

Laboratoire *: Laboratoire de Chimie de l'Environnement (LCE), UMR7376

Tableau récapitulatif du sujet

| | |
|--|--|
| Candidat(e)⁽¹⁾ | |
| Nom - Prénom : | |
| Date de naissance : | |
| Licence (origine, années, mention) : | |
| Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y) | |
| Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y) | |
| MASTER (nom, université) | |
| Sujet de doctorat proposé* | |
| Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)* | Henri Wortham (HDR), Benjamin Chazeau |
| Laboratoire* | Laboratoire de Chimie de l'Environnement (LCE), UMR7376 |
| Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1) | - Projet « ANTRACITE », financé par le programme Pépinière d'Excellence d'AMIDEX (25 k€) – 2026-2028 - Projet « AERO-MOCHI », financé par le LEFE-CHAT-INSU du CNRS (27.48 k€) – 2026-2028 - Projet « OTTER », à soumettre à l'appel à projet FNS/ANR-PRCI franco-suisse (~245 k€ pour le LCE) – 2027-2030 |

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Evaluation intégrée de la composition chimique et de la quantification des sources des particules fines atmosphériques à l'aide de techniques de mesure en ligne et hors-ligne en milieu urbain et industriel.

Descriptif *:

Contexte et positionnement:

La pollution de l'air constitue un défi majeur sur les plans scientifique, sociétal et économique en raison de son impact considérable sur le climat et la santé humaine (1, 2). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS),

elle représente le principal risque sanitaire d'origine environnementale, les particules fines (ou PM pour « particulate matter ») étant responsables de la majorité des effets (3).

Les PM constituent un mélange complexe de composés chimiques comprenant du carbone suie (« black carbon », BC), des ions inorganiques, des métaux et des aérosols organiques (AO), qui représente généralement la fraction principale (4). Déterminer leur composition chimique, et par extension identifier les sources d'émission de ces particules fines, est d'une grande importance en raison du lien avéré avec leur toxicité (5). L'exposition notamment aux éléments traces des PM, bien qu'ils contribuent faiblement à la masse totale particulaire, peut engendrer des effets néfastes pour la santé humaine et les écosystèmes, même à des concentrations proches des niveaux ambiants actuels (6). Il apparaît alors nécessaire de cibler et de réduire les émissions de PM afin d'améliorer durablement la qualité de l'air. Les politiques publiques doivent ainsi s'appuyer sur une connaissance fine de l'importance relative de la composition, des sources et de la toxicité de l'aérosol atmosphérique.

Traditionnellement, la spéciation chimique des PM repose sur des prélèvements sur filtres, généralement intégrés sur 24 heures, suivis d'analyses différées en laboratoire. Cependant, le développement récent d'analyseurs en ligne innovants permet désormais d'assurer un suivi en continu de la composition des PM, avec une résolution temporelle inférieure à une heure. Cette haute résolution temporelle présente un intérêt majeur pour fournir des informations à court terme utiles à la prise de décision, notamment lors d'épisodes de pollution atmosphérique (7), ainsi que pour une meilleure évaluation de l'exposition sanitaire à court-terme.

L'identification et la quantification des sources de particules fines, désignées sous le terme de « source apportement », est essentiel pour une gestion efficace de la qualité de l'air (8). En combinant les mesures issues des analyseurs en ligne avec des modèles statistiques dits modèles récepteurs, tels que la PMF (« Positive Matrix Factorization ») (9), il est possible d'estimer la contribution des principales sources de particules en un site donné.

Cette approche présente néanmoins certaines limites pour caractériser l'origine et les processus de formation de l'aérosol organique secondaire (AOS), fraction formée par condensation ou absorption de précurseurs gazeux oxydés, et représentant la part dominante de l'AO. De manière similaire, bien que les sources d'éléments métalliques mesurés en ligne aient pu être résolues avec succès par PMF (10, 11), l'approche montre ses limites pour distinguer des sources co-émises ou chimiquement proches, notamment lorsqu'elles sont fortement corrélées dans le temps. Pour pallier ces difficultés, les PM peuvent être collectées directement à la source d'émission afin d'établir des profils « de référence » (12, 13), pouvant être utilisées pour contraindre les solutions PMF. Toutefois, les profils observés en air ambiant diffèrent fréquemment de ceux mesurés à la source en raison des processus de transformation atmosphérique. C'est le cas des particules issues de l'usure des pneus, générées par les forces de friction entre les pneus et la chaussée, qui subissent des modifications en lien avec l'abrasion et la chaleur et conduisent à une composition chimique des particules différente de pneus non usés (14). De même, les particules d'usure des freins résultent de la friction entre plaquettes et disques lors du freinage et diffèrent chimiquement et morphologiquement de frein neufs (15).

Dans ce contexte, le développement d'approche intégrées combinant mesures en ligne, analyses hors-ligne avancées et méthodes statistiques innovantes apparaît nécessaire pour améliorer l'évaluation des sources spécifiques de PM et mieux appréhender leur impact sanitaire.

Objectifs de recherche :

Le projet de thèse s'inscrit dans ce contexte et s'appuiera sur deux projets récemment financés (ANTRACITE et AERO-MOCHI), qui s'ancre dans cette thématique. Les objectifs visent à :

-Caractériser avec précision la composition chimique des particules fines atmosphériques par la combinaison de techniques de mesure en ligne et hors ligne dans des environnements contrastés (super-sites urbain et industriel).

-Affiner l'identification et la quantification des sources de particules fines, en particulier les fractions de l'AOS et des éléments métalliques, grâce à l'intégration des résultats précédents et à l'utilisation de méthodes statistiques innovantes d'attribution des sources.

Méthodologie :

Le travail de thèse sera structuré en quatre tâches interconnectées combinant campagnes de terrain, analyses en laboratoire et modélisation statistique.

Tâche 1 : Caractérisation de la composition chimique en ligne des PM en milieu urbain (Marseille) et industriel (Port-de-Bouc) :

Une campagne de mesure d'une durée de 12 mois sera menée sur les super sites de Marseille-Longchamp (MRS-LCP) et Port-de-Bouc-La-Lecque (PdB) afin de capturer les variations saisonnières des polluants atmosphériques mesurés. MRS-LCP, labélisé CNRS-INSU et « super site européen », constitue une station de fond urbaine située dans le parc Longchamp, au coeur de la deuxième ville la plus peuplée de France. La ville est caractérisée par des niveaux de pollutions particulières influencés par des sources multiples et des conditions saisonnières contrastées. PdB, station gérée par AtmoSud et situé environ à 40 km au nord-ouest de Marseille, est situé dans l'un des plus grands complexes industriels d'Europe (raffineries, pétrochimie, terminaux GNL, aciéries, chantiers navals). En complément des sources anthropiques, la région est sous l'influence d'émissions naturelles (poussières sahariennes, aérosols marins, végétation) et la formation d'AOS est fréquente en raison d'une activité photochimique intense. Ces deux sites sont donc idéaux pour étudier les différents processus de pollution aux particules.

Un important parc instrumental en ligne est déjà implanté sur les sites, comprenant notamment des mesures de composition chimique des particules non réfractaires (ToF-ACSM), de carbone suie (Aethalomètre AE33), de distribution en taille et en nombre de particules (SMPS), ainsi que de composition élémentaire métallique (Xact 625i), à haute résolution temporelle (<1h). Des capteurs météorologiques et des analyseurs de polluants réglementés (PM_x, NO_x, O₃, SO₂, NH₃) sont également disponibles.

En parallèle de ces mesures en ligne, des prélèvements sur filtres seront réalisés à l'aide de préleveurs passifs et à haut débit pour réaliser des analyses en laboratoire sur les PM collectées.

Tâche 2 : Analyses en laboratoire de marqueurs organiques et d'éléments métalliques des PM :

Les filtres collectés feront l'objet de divers analyses chimiques. Les marqueurs organiques primaires issus principalement de la combustion (HAPs, hopanes, stéranes, n-alcanes, acides gras et sucres anhydres) seront quantifiés par GC-MS. Un protocole spécifique sera développé pour l'analyse de traceurs organiques secondaires (e.g. acide phtalique, acide pinique ou 3-MBTCA), afin de mieux distinguer les origines anthropiques et biogéniques de l'AOS. Certains filtres sélectionnés seront également étudiés par une approche « non-ciblée » en LC-MS Orbitrap, dans le but de détecter des milliers de composés organiques et permettre ainsi une meilleure compréhension de la composition moléculaire de l'AO.

Par ailleurs, des analyses automatisées de particules individuelles par MEB/EDX (16), permettant de différencier les particules élémentaires présentes dans divers fractions granulométriques. Ces analyses représentent une approche originale qui combine les signatures chimiques obtenues avec des paramètres morphologiques, texturaux et granulométriques de chaque particule individuellement. Ces informations seront exploitées dans un classificateur basé sur « l'apprentissage automatique », améliorant ainsi leur différenciation et leur attribution à des sources spécifiques.

Tâche 3 : Identification et quantification des sources des PM, en combinant les données en ligne et hors-ligne :

L'identification et la quantification statistiques des sources seront réalisées par méthode PMF à l'aide du logiciel SoFi Pro (17). Des approches seront explorées pour affiner l'attribution de certaines sources, notamment pour l'aérosol organique et les éléments métalliques, et combineront les données en ligne et hors-ligne obtenues en tâche 1 et 2.

La PMF sera tout d'abord appliquée aux jeux de données issus de l'analyse en ligne de l'aérosol organique avec le ToF-ACSM et de l'analyse de marqueurs en GC-MS et LC-MS. Ces bases de données seront combinées dans une approche multi-résolution temporelle (MTR-PMF) (18) afin d'améliorer la distinction des différentes origines et processus de formation de l'aérosol organique.

Ensuite, les données en ligne du Xact625i seront combinées avec les signatures morpho-texturales et chimiques des éléments métalliques obtenue par la technique MEB/EDX (tâche 2). Cette caractérisation unique fournira des profils élémentaires de sources « real-world » permettant de contraindre les jeux de données Xact, en particulier pour les sources qui ne peuvent pas être identifiées de manière fiable par une PMF plus conventionnel basé uniquement sur des données en ligne.

Tâche 4 : Estimation du potentiel oxydant (PO) des particules fines :

Dans le cadre d'un projet FNS/ANR-PRCI soumis, des mesures en ligne du potentiel oxydant, un indicateur sanitaire de la capacité des particules à générer du stress oxydant, pourrait être réalisées sur le site MRS-LCP. Ces données en ligne permettront d'attribuer les contributions des différentes sources de PM, déterminées en tâche 3, au potentiel oxydant total, et ainsi de mieux appréhender leur impact sanitaire.

Références :

1. A. J. Cohen *et al.*, *The Lancet*. **389**, 1907–1918 (2017).
2. IPCC, *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge University Press, ed. 1, 2023; <https://www.cambridge.org/core/product/identifiant/9781009157896/type/book>).
3. WHO, *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide* (World Health Organization, Geneva, 1st ed., 2021).
4. G. Chen *et al.*, *Environment International*. **166**, 107325 (2022).
5. K. R. Daellenbach *et al.*, *Nature*. **587**, 414–419 (2020).
6. L. C. Chen, M. Lippmann, *Inhalation Toxicology*. **21**, 1–31 (2009).
7. O. Favez *et al.*, *Atmosphere*. **12**, 207 (2021).
8. P. K. Hopke, *Journal of the Air & Waste Management Association*. **66**, 237–259 (2016).
9. P. Paatero, U. Tapper, *Environmetrics*. **5**, 111–126 (1994).
10. J. Camman *et al.*, *Atmospheric Chemistry and Physics*. **24**, 3257–3278 (2024).
11. M. Manousakas *et al.*, *Atmospheric Environment: X*. **14**, 100165 (2022).
12. K. R. Daellenbach *et al.*, *Atmospheric Measurement Techniques*. **9**, 23–39 (2016).
13. H. Timonen *et al.*, *Journal of Aerosol Science*. **56**, 61–77 (2013).
14. J. Rausch *et al.*, *Science of The Total Environment*. **803**, 149832 (2022).
15. T. Grigoratos, G. Martini, *Environ Sci Pollut Res*. **22**, 2491–2504 (2015).
16. I. Järnskog *et al.*, *Water Air Soil Pollut*. **233**, 375 (2022).
17. F. Canonaco *et al.*, *Atmos. Meas. Tech*. **14**, 923–943 (2021).
18. M. Via *et al.*, *Environment International*. **177**, 108006 (2023).

Détail du Programme finançant la recherche* :

- Projet « **ANTRACITE** » : ANalyse de TRACeurs de l'aérosol organiques en sITEs urbain et industriel pour affiner l'identification des sources de particules fines, financé par le programme Pépinière d'Excellence 2025 d'AMIDEX (25 k€) – 2026-2028. Coordinateur : Benjamin Chazeau (LCE UMR7376), Partenaire : AtmoSud (France).
- Projet « **AERO-MOCHI** » : Caractérisation des sources de l'AEROSol urbain par couplage de mesures in-situ et d'analyses MORpho-CHImiques, financé par le LEFE-CHAT-INSU du CNRS (27.48 k€) – 2026-2028. Coordinateur : Benjamin Chazeau (LCE UMR7376), Partenaires : AtmoSud (France), Particle Vision GmbH (Fribourg, Suisse).

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : WORTHAM Henri

Corps : Professeur des universités, classe 1 (HDR)

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : Laboratoire de Chimie de l'Environnement (LCE) UMR7376, équipe Instrumentation et Réactivité Atmosphérique (IRA)

Adresse mail : henri.wortham@univ-amu.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

- 1/ Bou Saad M., Ravier S., Durand A., Temime-Roussel B., Gaudefroy V., Pevere A., **Wortham H.**, Doumenq P. Targeted LC-MS Orbitrap Method for the Analysis of Azaarenes, and Nitrated and Oxygenated PAHs in Road Paving Emissions. *Molecules*, 30, 3397, 2025 <https://doi.org/10.3390/molecules30163397>
- 2/ Gunti Q., Chazeau B., Temime-Roussel B., Xueref-Remy I., Armengaud A., **Wortham H.**, and D'Anna B. Measurement report: Emission factors and organic aerosol source apportionment of shipping emissions in the coastal city of Toulon, France. *Atmos. Chem. Phys.* 2026 <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-2215>
- 3/ Le Berre L., Temime-Roussel B., Lanzafame G.M., D'Anna B., Marchand N., Sauvage S., Dufresne M., Tinel L., Leonardis T., Ferreira de Brito J., Armengaud A., Gille G., Lanzi L., Bourjot R., and **Wortham H.** Measurement report: In-depth characterization of ship emissions during operations in a Mediterranean port. *Atmos. Chem. Phys.*, 25, 6575-6605, 2025. <https://doi.org/10.5194/acp-25-6575-2025>
- 4/ Rocco, M., Kammer, J., Santonja, M., Temime-Roussel, B., Saignol, C., Lecareux, C., Quivet, E., **Wortham, H.**, and Ormeno, E.: Litter biomass as a driver of soil VOC fluxes in a Mediterranean forest. *Biogeosciences*, 22, 3661–3680, 2025. <https://doi.org/10.5194/bg-22-3661-2025>
- 5/ Bedos C., Samia B., **Wortham H.**, et al.... Pesticide fate and transport in the atmosphere and implications for risk assessment. *Haz. Mat* in-press 2026

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : CAMMAN Julie

Intitulé : Impact de la composition chimique des particules atmosphériques sur leur potentiel oxydant

Type d'allocation : CNRS MITI

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2020

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 19 Décembre 2023

Programme finançant la recherche : CNRS MITI

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Ingénieure en bureau d'étude

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : LE BERRE Lise

Intitulé : Evolution physique et chimique des particules fines produites par le trafic maritime en zone portuaire et en champs proche

Type d'allocation : bourse ADEME
Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2019
Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 16 Décembre 2024
Programme finançant la recherche : projet ADEME « PAREA »
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post-doctorante
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : SAMIA Boulos
Intitulé : Réactivité hétérogène et devenir atmosphérique des produits phytopharmaceutiques : cinétiques de dégradation, produits de transformation et dynamique de répartition.
Type d'allocation : bourse ED251
Date de début de l'allocation de doctorat : Novembre 2022
Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 01 Décembre 2025
Programme finançant la recherche : ED251
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Ingénieur de Recherche
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : BOU SAAD Maria
Intitulé : Caractérisation Organique des Fumées Emises par des matériaux Routiers Incorporant des Agrégats d'Enrobés Recyclés.
Type d'allocation : Région PACA - Entreprise
Date de début de l'allocation de doctorat : Novembre 2022
Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 10 Mai 2026
Programme finançant la recherche : ADEME
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : Mostafa KHAZMA
Intitulé : Emission de composés organiques volatils par les engrais organique et incidence sur la qualité de l'air
Type d'allocation : ADEME- Région PACA
Date de début de l'allocation de doctorat : Novembre 2022
Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : Juin-Octobre 2026
Programme finançant la recherche : ADEME- Région PACA
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : GUNTI Quentin
Intitulé : Emissions des navires et impacts sur la qualité de l'air en milieu urbain.
Type d'allocation : bourse CIFRE
Date de début de l'allocation de doctorat : Février 2022
Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 13 Novembre 2025
Programme finançant la recherche : projet ANR PRC « SHIPAIR »
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Ingénieur spécialiste
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : BOULOS Christelle
Intitulé : Caractérisation chimique et identification des sources de particules fines au Liban
Type d'allocation : bourse Liban
Date de début de l'allocation de doctorat : Novembre 2024
Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :
Programme finançant la recherche : Liban
Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :
Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : AKIKI Marie-Joe

Intitulé : Analyse des PFAS dans les phases gazeuse et particulaires de l'atmosphère, quantification des sources dans les atmosphères intérieures

Type d'allocation : bourse CIFRE

Date de début de l'allocation de doctorat : Novembre 2024

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : CNRS MITI

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : AUBOIN Célestine

Intitulé : La litière des espèces arborées en milieu urbain sous différents scénarios climatiques : implications sur la qualité de l'air et importance des variables biotiques et abiotiques

Type d'allocation : CNRS MITI

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2024

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : projet ADEME « COLOS »

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 33%

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : CHAZEAU Benjamin

Corps : Maître de Conférences

Adresse mail : benjamin.chazeau@univ-amu.fr

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : Laboratoire de Chimie de l'Environnement (LCE) UMR7376, équipe Instrumentation et Réactivité Atmosphérique (IRA)

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

- 1/ Brezins, M., Chazeau, B., Marchand, N., Gille, G., Soubise, J., Favez, O., Jaffrezo, J.L., Uzu, G., D'Anna, B., 2026. Evolution of the V/Ni Ratio in Response to IMO Regulation-Induced Fuel Shifts and Scrubber Use. Environ. Sci. Technol. Lett. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5c01199>
- 2/ Gunti, Q., **Chazeau, B.**, Temime-Roussel, B., Xueref-Remy, I., Armengaud, A., Wortham, H., D'Anna, B., 2026. Measurement report: Emission factors and organic aerosol source apportionment of shipping emissions in the coastal city of Toulon, France. Atmospheric Chemistry and Physics 26, 2893–2919. <https://doi.org/10.5194/acp-26-2893-2026>
- 3/ Camman, J., **Chazeau, B.**, Marchand, N., Durand, A., Gille, G., Lanzi, L., Jaffrezo, J.-L., Wortham, H., Uzu, G., 2024. Oxidative potential apportionment of atmospheric PM₁: a new approach combining high-sensitive online analysers for chemical composition and offline OP measurement technique. Atmospheric Chemistry and Physics 24, 3257–3278. <https://doi.org/10.5194/acp-24-3257-2024>
- 4/ **Chazeau, B.**, El Haddad, I., Canonaco, F., Temime-Roussel, B., D'Anna, B., Gille, G., Mesbah, B., Prévôt, A.S.H., Wortham, H., Marchand, N., 2022. Organic aerosol source apportionment by using rolling positive matrix factorization: Application to a Mediterranean coastal city. Atmospheric Environment: X 14, 100176. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2022.100176>
- 5/ **Chazeau, B.**, Temime-Roussel, B., Gille, G., Mesbah, B., D'Anna, B., Wortham, H., Marchand, N., 2021. Measurement report: Fourteen months of real-time characterisation of the submicronic aerosol and its atmospheric dynamics at the Marseille–Longchamp supersite. Atmospheric Chemistry and Physics 21, 7293–7319. <https://doi.org/10.5194/acp-21-7293-2021>

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : BREZINS Mathilde

Intitulé : Evaluation de la contribution des émissions des bateaux de transport maritime à l'environnement urbain de Marseille basé sur la composition chimique des PM₁ et le potentiel oxydant des polluants gazeux et particulaires.

Type d'allocation : projet ANR PRC « SHIPAIR »

Date de début de l'allocation de doctorat : octobre 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) :

Programme finançant la recherche : projet ANR PRC « SHIPAIR »

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 0% (Directrice : Barbara d'Anna, LCE ; Co-directrice : Gaelle UZU, IGE ; Co-encadrant : Benjamin Chazeau)