

# Proposition de sujet de thèse 2026

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : [hammad@cerege.fr](mailto: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 \*: Etude de l'impact de boues rouges sur le fonctionnement d'hydrosystèmes continentaux et les services écosystémiques associés

Encadrants :

CRIQUET Stéven, [steven.criquet@imbe.fr](mailto:steven.criquet@imbe.fr)

CAVALLI Laurent, [laurent.cavalli@imbe.fr](mailto:laurent.cavalli@imbe.fr)

Laboratoire \*: IMBE, Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

### Tableau récapitulatif du sujet

<b>Candidat(e)</b> (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)	
<b>Sujet de doctorat proposé*</b>	<b>Etude de l'impact de boues rouges sur le fonctionnement d'hydrosystèmes continentaux et les services écosystémiques associés</b>
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	Stéven Criquet (HDR), Laurent Cavalli
Laboratoire*	IMBE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	*AOI IMBE (2026-28) - Etude de l'Impact des DEpôts de BOues Rouges sur le fonctionnement biologique d'un cours D'Eau (IDEBORDE). 7000 € Obtenus  *Agence de l'Eau RMC – Accord de financement ; Montant en cours de négociation

	<p>*EPAGE Menelik – Etablissement Public d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (Arc, Cadière, Touloubre). Accompagnement technique (Obtenu)</p> <p>*GIPREB – Groupement d'Intérêt Public pour le Réhabilitation de l'Etang de Berre ; Accompagnement technique (Obtenu)</p> <p>*Dépôt d'un projet EC2CO - HYdroBioGEosystèmes et leurs interactions (courant 2026)</p>
--	---

## Sujet de doctorat proposé\*

Intitulé\* : **Etude de l'impact de boues rouges sur le fonctionnement d'hydrosystèmes continentaux et les services écosystémiques associés**

Descriptif\* :

Contexte :

Au cours des XIX et XX<sup>e</sup> siècle, les activités industrielles autour de Marseille et de sa région étaient nombreuses et ont conduit à des pollutions des sols et à la production et au stockage de déchets industriels. Les résidus de bauxite, également appelés boues rouges (BR), sont le sous-produit de l'extraction de l'alumine par le procédé Bayer basé sur la digestion du minerai de bauxite par de la soude caustique (NaOH). Ce sont des résidus caractérisés par une alcalinité et une salinité élevée, une structure médiocre, un manque de nutriments et des teneurs importantes en ETMMs (Chrome, Arsenic, Vanadium, ...) et en terres rares. Leur production mondiale annuelle est estimée à environ 200 millions de tonnes en 2024 (Svobodova-Sedlackova et al., 2024), tandis que la quantité totale stockée depuis les débuts de cette industrie était estimée en 2018 à environ 4-5 milliards de tonnes, et d'ici 2050, ce nombre pourrait atteindre 10 milliards de tonnes (Lyu et al., 2021) Ces quantités gigantesques de résidus, et leur stratégie de confinement, le plus souvent inadaptée ou inexistante, font courir un risque majeur aux écosystèmes qui les environnent. Il existe de nombreuses stratégies de gestion de ces résidus, mais, à l'échelle mondiale, la plus fréquente consiste à les déverser directement dans le milieu naturel au gré de la géomorphologie locale (dépressions topographiques, flancs de côtes, terrils, etc.). Entre 1894 et 2020, la Provence a connu une intense activité sidérurgique d'extraction de l'alumine. Son territoire est aujourd'hui lui aussi marqué par ces dépôts historiques que l'on retrouve à Gardanne, Vitrolles, Marseille, la Penne-sur-Huveaune, ainsi qu'en mer dans la fosse de Cassidaigne au large de Cassis. Le crassier du Griffon à Vitrolles représente certainement le dépôt terrestre le plus problématique de la Métropole d'Aix-Marseille, car une partie importante des résidus y est stockée sans aucune structure de confinement (i.e. couche de fermeture constituée de remblais ou de terre végétale). En activité entre 1953 et 1968, les 2 millions de tonnes de boues rouges de ce crassier sont depuis laissées aux aléas des précipitations et des ruissellements qui en résultent, dont une partie rejoint le réseau hydrographique local pour contaminer le cours d'eau de la Cadière. Ce fleuve, qui serpente en milieu urbain et péri-urbain, se jette dans l'étang de Bolmon et constitue un site atelier idéal pour étudier l'impact des boues rouges sur la biodiversité aquatique. L'impact des BR sur la biodiversité et le fonctionnement des sols est aujourd'hui bien documenté (e.g. Fourrier et al. 2020, Fourrier et al. 2021). A contrario, les données sur la biodiversité marine sont plus rares (Bouchoucha et al. 2019), et dans le cas des milieux dulçaquicoles pratiquement inexistantes (Eros et al. 2015). L'objectif général de cette étude est donc de palier à ce manque de données en menant des recherches sur l'impact des boues rouges sur la biodiversité aquatique de la Cadière et de ses affluents, mais également sur d'autres cours d'eau de la région, comme l'Huveaune et le Ruisseau des Aygalades, eux aussi potentiellement impactés pas ces résidus mais à des degrés moindres.

## Objectifs :

L'objectif général de ce projet est de caractériser les mécanismes impliqués dans les pertes de biodiversité observées dans les cours d'eau directement impactés par les dépôts de boues rouges. L'objectif est à la fois de caractériser les processus de transfert des polluants dans les différents maillons de la chaîne trophique mais également d'appréhender les impacts sur les différents niveaux trophiques en faisant un focus particulier sur les facteurs de contrôle des producteurs primaires et les interactions entre communautés microbiennes, communautés d'algues ou de cyanobactéries et communautés de macro-invertébrés benthiques. Des approches écotoxicologiques seront également développées afin de mieux appréhender les mécanismes d'action et les effets des boues rouges.

Ces approches doivent nous permettre d'évaluer l'état écologique d'hydrosystèmes continentaux exposés aux boues rouges. A cette fin, les cours d'eau exposés aux crassiers de boues rouges de Vitrolles (Cadière), de La Delorme (Ruisseau des Aygalades) et de La Penne sur Huveaune (Huveaune), ainsi que l'Etang de Bolmon constitueront les différents sites permettant de répondre à nos différentes hypothèses visant à comprendre les interactions entre les différents compartiments du réseau trophique. Notre base de réflexion dans le cadre de ce projet est que les boues rouges (BR) peuvent présenter des effets écotoxiques et agir comme un filtre environnemental, et qu'à ce titre :

- Les propriétés physico-chimiques des BR modifient la qualité de l'eau et affectent le potentiel de colonisation des surfaces benthiques par des biofilms microbiens et algaux situés à la base des réseaux trophiques
- La structure des communautés microbiennes et algales, notamment celles halo-alcalophiles, évoluent selon un gradient d'abondance décroissant des BR de l'amont vers l'aval, avec une répercussion sur l'ensemble du réseau trophique
- La structuration des communautés d'invertébrés subit une altération dans les cours d'eau les plus exposés aux BR
- Les processus de transfert dans le réseau trophique conduisent à des phénomènes de bioaccumulation des polluants dans les organismes placés en bout de chaîne alimentaire.

Outre l'analyse de la modification *in natura* de la composition et de la structure des communautés de bactéries, d'algues et de macro-invertébrés, des expérimentations en mésocosmes seront également mises en place afin de mettre en évidence des phénomènes de stress métaboliques et d'écotoxicité sur différents maillons de la chaîne trophique et ainsi mieux appréhender les effets des boues sur les organismes et les services écosystémiques.

Pour répondre à ces hypothèses, il sera nécessaire :

- De caractériser le niveau de contamination signature de la présence de BR (Al, As, Cd, Cr, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Ti, V, lanthanides) dans l'eau, les sédiments et les organismes biologiques le long d'un gradient d'influence des dépôts de boues rouges dans différents cours d'eau et dans l'étang de Bolmon. Pour cela, nous sélectionnerons des organismes appartenant à différents groupes trophiques (filtreurs, brouteurs, déchiqueteurs, prédateurs).
- De caractériser la variabilité de la composition et de la structure des communautés de producteurs primaires, d'invertébrés benthiques et de communautés bactériennes dans l'espace et dans le temps
- De caractériser les effets des boues rouges sur certains services écosystémiques (mise en place de litter bags pour caractériser les effets sur les processus de dégradation de la matière organique, ...)
- De mettre en place une démarche expérimentale permettant de caractériser le développement bactérien et la production primaire benthique (périphytomètres)
- De mettre en place des tests écotoxicologiques

Les connaissances acquises dans le cadre de ce projet devront permettre d'identifier et de proposer aux acteurs locaux des stratégies de réhabilitation des zones de dépôts de boues rouges afin de limiter leur transfert, en particulier vers les milieux aquatiques, et ainsi limiter leur impact sur l'environnement.

Détail du Programme finançant la recherche\* :

- Pour la période 2026-28 : Lauréat de l'Appel d'Offre Interne (AOI) de l'IMBE portant sur le même sujet et sur lequel un stage de Master 2 est en cours.
- Accord de collaboration et de financement obtenu auprès de l'Agence de l'Eau RMC (Peggy Bourianne). Des discussions sont en cours entre l'Agence de l'Eau et les différents partenaires impliqués (DREAL, EPAGE Menelik, GIPREB, ...) pour fixer le montant de l'aide allouée

- Accord de collaboration avec l'EPAGE Menelik et le GIPREB qui pourront intervenir en soutien de la mise en œuvre technique des opérations de terrain ainsi que la mise à disposition des données existantes sur la qualité des eaux de la Cadière et de l'Étang de Bolmon)
- La même démarche sera effectuée auprès de l'EPAGE HuCA (Huveaune – Côtiers – Aygalades)
- Lorsqu'il sera ouvert courant 2026, une réponse à l'Appel d'offre EC2CO HYdroBIOGEosystèmes est également prévue.

### 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 : CRIQUET Stéven

Corps : MCF HDR

Laboratoire : IMBE – Equipe POPCO

Adresse mail : [steven.criquet@imbe.fr](mailto:steven.criquet@imbe.fr)

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

**LAMWATI, Y., CRIQUET, S., SMOUNI, A., ANGELETTI, B., LE BRIS, M., LEVARD, C., FAHR, M., & COLLIN, B. (2025).** Impact of fertilization strategies on *Phytolacca americana* phytoextraction of rare earth elements from modified bauxite residue. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 23(1), 38. <https://doi.org/10.1007/s13762-025-06846-y> (IF 3.4)

**CRIQUET S., CLOUARD M., BORSCHNECK D., ZIARELLI F., KELLER C., 2023.** Pedobiological properties of a lignite spoil heap in the Provence coal mine basin (south-east of France). *Geoderma Regional* 35 (2023) e00711. (IF 3.3)

**FOURRIER C., LUGLIA M., HENNEBERT P., FOULON J., AMBROSI J.P., ANGELETTI B., KELLER C., CRIQUET S. (2020)** Effects of increasing concentrations of unamended and gypsum modified bauxite residues on soil microbial community functions and structure – A mesocosm study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 201, 110847 (IF 6.1)

**FOURRIER C., LUGLIA M., FOULON J., KELLER C., HENNEBERT P., AMBROSI J.P., ANGELETTI B., CRIQUET S. (2021)** How raw and gypsum modified bauxite residues affect seed germination, enzyme activities and root development of *Sinapis alba*. *Water, air and soil pollution* 232 (8):309, doi: 10.1007/s11270-021-05232-x (IF 3.0)

**COUTURIER J, TAMBA OULARE P, COLLIN B, LALLEMAND C, KIEFFER I, LONGEREY J, CHAURAND P, ROSE J, BORSCHNECK D, ANGELETTI B, CRIQUET S, PODOR R, POURKHORSANDI H, ARRACHART G, LEVARD C, 2024.** Yttrium speciation variability in bauxite residues of various origins, ages and storage conditions. *Journal of Hazardous Materials* 464 (2024) 132941. (IF 11.3)

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

Nom : LAMWATI Youssef

Intitulé : Etude physiologique et métabolomique de la réponse de *Phytolacca americana* aux terres rares et exploration de son potentiel de phytoextraction à partir de résidus de bauxite.

Type d'allocation : Bourse de Doctorat ITEM

Date de début de l'allocation de doctorat : 2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : Mai-Juin 2026

Programme finançant la recherche : ITEM BioExtract

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

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

### **Autre directeur proposé (éventuellement)\***

Nom - Prénom : CAVALLI Laurent

Corps : MCF

Adresse mail : laurent.cavalli@imbe.fr

Laboratoire : IMBE POPCO

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

Dory F., Arthaud F., Augé V., Baillet S., Bertrand C., Birck C., Bruel R., **Cavalli L.**, Franquet E., Jacob F., Sagot S., Souchier M., Napoleoni R., Perga M.E., 2025. Vulnerable but not equal: mountain lakes exhibit heterogeneous patterns of phytoplankton responses to climate change" *Limnology and Oceanography Letters*, 10 (5), 712-723.

Tiberti R., Dory F., Arthaud F., Augé V., Birk C., **Cavalli L.**, Fontaneto D., Napoleoni R., Perga M.E., Sabas I., Sagot C., Sommaruga R., 2025. Long-term changes of zooplankton in alpine lakes result from a combination of local and global threats. *Biological Conservation* 308, 111222.

**Cavalli, L.**, Dory, F., Oursel, B., Meineri, E., Bertrand, C., Jacquemin, C., Moullec, P., Franquet, E. 2025. Benthic-pelagic equilibrium of carbon transfer in high-altitude lakes: featuring the role of lake's characteristics and seasonal variation. *Aquatic Sciences* 84(1).

Dory, F., **Cavalli, L.**, Franquet, F., Van Wambeke, F., Mission, B., Tatoni, T., Mounier, S., Martino, C., Oursel, B., Bertrand, C. (2024). Algal- and soil-derived dissolved organic matter shapes bacteria-phytoplankton interactions in a high-altitude lake. *Freshwater Biology*, 69 (4), 509-526. (IF = 3.5).

Fanton, H., Affre, L., Franquet, E., Bertrand, C., **Cavalli, L.**, Dumas, E., Guiller, C., Kaldonski, N., Meineri, E., Mutillod, C., Oursel, B., Pavon, D., Thorel, M., Tatoni, T. & Fayolle, S. (2023). Heavy ionic pollution disrupts assemblages of algae, macroinvertebrates and riparian vegetation. *Environmental Pollution*, 331, 121791. (IF = 8.9)

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

Nom : DORY Flavia

Intitulé : Sensibilité des communautés planctoniques à la matière organique dissoute : vers une compréhension de la vulnérabilité des lacs de haute altitude aux changements globaux

Type d'allocation : Bourse ED 251

Date de début de l'allocation de doctorat : 2019

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 04/05/2022

Programme finançant la recherche : EC2CO

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 25 %