



2024

RAPPORT D'ACTIVITÉS

*// Votre partenaire R&D pour
répondre aux enjeux de l'eau*

Sommaire

- 4 //** Édito du directeur
- 5 //** Le réseau des Carnot®
- 9 //** Le Carnot Eau & Environnement
- 15 //** Les temps forts
- 23 //** Les collaborations
- 27 //** Les projets financés par le Carnot®



Édito

Par STÉPHANE RUY

Directeur du Carnot Eau & Environnement

L'année 2024 a une nouvelle fois démontré combien la gestion de l'eau et des milieux aquatiques est au cœur des grands défis de notre société. Si la climatologie relativement humide de l'année 2024 a permis d'éclipser, de façon très transitoire, les enjeux de sécheresse prolongée et de partage de la ressource, en revanche les épisodes de pluies intenses ont généré des inondations importantes et des coulées boueuses qui ont durablement impacté certains territoires (tempête Kirk d'octobre, village de La Bérarde en juin...). Du point de vue de la qualité, la présence de micropolluants et des PFAS en particulier dans les eaux de surface et les eaux souterraines semble généralisée. Ainsi, l'eau est plus que jamais un sujet de vigilance, mais aussi un formidable levier d'innovation et de coopération: des années d'innovation dans le traitement de l'eau et la surveillance du milieu ont permis l'amélioration continue de la qualité de l'eau au sein du bassin versant de la Seine, rendant la baignade possible dans la Seine au cœur de Paris, les triathlètes des JO de Paris 2024 peuvent en témoigner.

Dans ce contexte exigeant, le Carnot Eau & Environnement a poursuivi avec détermination sa mission: rapprocher les compétences académiques de nos équipes de recherche des besoins concrets des acteurs économiques et des territoires. Les projets menés en 2024 ont illustré la force de ce modèle: transformer la connaissance scientifique en solutions utiles, opérationnelles et partagées.

Cette dynamique n'aurait pas été possible sans l'implication constante des scientifiques, la confiance des partenaires socio-économiques et l'engagement de l'équipe opérationnelle. Je tiens à remercier chaleureusement chacune et chacun pour cette mobilisation collective, qui fait du Carnot Eau & Environnement un acteur reconnu dans le paysage de la recherche partenariale.

L'année a également été marquée par de nouveaux signaux forts au niveau national et européen, incitant à accélérer la transition vers une gestion plus sobre, plus résiliente et plus circulaire de la ressource. Nos actions s'inscrivent pleinement dans cette perspective, qu'il s'agisse d'accompagner l'essor de la réutilisation des eaux, d'améliorer la qualité des milieux ou encore de renforcer la capacité d'adaptation des territoires et des entreprises face au changement climatique.

Ce rapport d'activités 2024 reflète la richesse et la diversité des réalisations portées par notre communauté Carnot. J'espère qu'il vous donnera à voir toute l'ampleur des défis relevés, et la conviction partagée que science et innovation doivent être au service de l'eau, bien commun essentiel.

Très bonne lecture à toutes et tous.



Le 
réseau
des Carnot®

Le réseau des Carnot®

Le pont entre la recherche et l'entreprise

Les Carnot® sont des structures de recherche publique françaises, labellisées par le Ministère de la recherche et de l'enseignement supérieur pour leur capacité à mener des projets de recherche partenariale au service de l'innovation avec des entreprises. Ils s'engagent à développer une activité de recherche partenariale au service de l'innovation des acteurs socio-économiques et des entreprises, de la PME au grand groupe.

La mission des Carnot® : préparer l'avenir industriel et économique en accompagnant les entreprises dans leur transformation, en leur facilitant l'accès à la R&D pour leurs projets d'innovation.

Le label Carnot®, gage d'excellence

Depuis 2006, le label Carnot® a pour **vocation de développer la recherche partenariale**. Il est un véritable levier pour accompagner les transitions écologiques, énergétiques, économiques et sociétales des acteurs socio-économiques.

Le Label Carnot® est également **une garantie d'excellence scientifique, de professionnalisme et la garantie d'une relation partenariale privilégiée**.

Pour être labellisé, chaque Carnot® doit répondre à un niveau d'exigence élevé selon des critères précis : une activité de recherche soutenue, un volume important de contrats de R&D avec les entreprises et autres acteurs socio-économiques, une stratégie de recherche établie sur des thématiques bien identifiées et cohérentes par rapport aux besoins des secteurs économiques ciblés.

Le réseau des Carnot®, acteurs incontournables de la R&D

Les Carnot® constituent la première force de recherche publique capable de se mobiliser sur tous les fronts de la R&D pour accompagner la relance et la souveraineté économique de la France par l'innovation. C'est en travaillant en étroite collaboration avec l'écosystème de l'innovation que les Carnot® identifient les problématiques des entreprises pour anticiper et répondre à leurs besoins.



Le Réseau des Carnot

Le réseau des Carnot®



39
Carnot® Implantés dans toute la France



20%
des effectifs de la Recherche publique



35 000
professionnels de la recherche en ETP
dont 10 000 doctorants (1 700 en contrat CIFRE)



29 000
publications de rang A par an



900
brevets prioritaires déposés dans l'année

Recherche contractuelle avec les entreprises

595 M€

Recherche publique financée par les entreprises confiée au réseau

55%

La mobilisation des Carnot® au service des filières

Dans un contexte de grandes mutations technologiques, sociétales et environnementales, le monde socio-économique se structure.

Afin de renforcer leur capacité à répondre aux attentes industrielles, exprimées notamment par les Comités Stratégiques de Filières, et aux grands défis identifiés par l'État au travers des Stratégies d'accélération et du plan d'investissement France 2030, les Carnot® s'organisent collectivement pour co-construire, mutualiser, mettre en synergie leurs expertises et leurs ressources.

Cette organisation, souple et agile, mobilise des collectifs de Carnot® qui se fixent des objectifs ambitieux en se focalisant sur un secteur économique parmi lesquels l'**Agritech et la FoodTech** ou la **Ville durable** auxquels participe activement le Carnot Eau & Environnement.

En mutualisant leurs expertises, les Carnot® apportent des réponses R&D aux défis auxquels doivent faire face les entreprises des secteurs économiques concernés par ces thématiques.

L'objectif principal de ce travail en réseau est d'apporter plus de valeur en réponse aux défis des entreprises d'un secteur économique, en favorisant les synergies.

Le réseau des
CARNOT
POUR la ville Durable

Le réseau des
CARNOT
POUR AgriFood FoodTech

Stéphane RUY
Directeur du Carnot
Eau & Environnement

"Face aux mutations rapides que connaissent nos filières, la force du réseau Carnot réside dans sa capacité à unir ses expertises autour de priorités communes."

En participant activement à des collectifs tels que l'Agritech et la Foodtech ou la Ville durable, le Carnot Eau & Environnement contribue à proposer aux entreprises des solutions R&D plus intégrées, plus pertinentes et plus ambitieuses."



Le Carnot® Eau & Environnement



Le Carnot Eau & Environnement

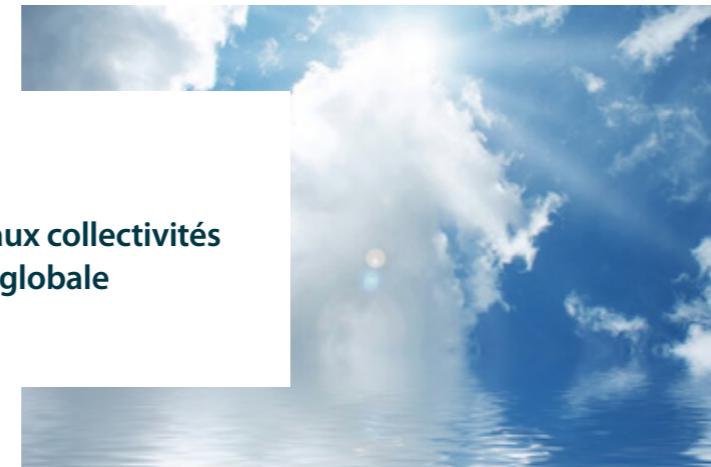
Votre partenaire R&D pour répondre aux enjeux de l'eau

Labellisé en 2020, le Carnot Eau & Environnement rassemble des unités de recherche et un centre de ressources technologiques organisés pour répondre aux besoins de R&D des partenaires socio-économiques, collectivités et entreprises, acteurs du secteur de l'eau et usagers de la ressource en eau.



Notre mission

Permettre aux entreprises et aux collectivités d'innover pour une approche globale du cycle de l'eau.



Nos axes stratégiques

Pour répondre aux besoins d'innovation des entreprises, le Carnot Eau & Environnement a organisé les compétences de son réseau selon **4 axes stratégiques** en lien avec les enjeux du secteur de l'eau.



Surveillance de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques
Étude des milieux aquatiques pour préserver leur biodiversité

Dans ce cadre, les chercheurs évaluent par exemple l'impact des espèces invasives, étudient les sources et les dynamiques des pollutions et les effets (éco)toxicologiques des contaminants, ou encore conçoivent des techniques de caractérisation et de traçage des contaminations par les micropolluants notamment (chimiques, métalliques, plastiques).



Constitution de nouvelles ressources en eau
Améliorer la gestion de l'eau pour mieux la partager

Les chercheurs produisent des connaissances sur l'évolution quantitative de la ressource dans les rivières, les aquifères... Ils recherchent des solutions pour renouveler la ressource comme la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) ou encore la recharge de nappes.



Optimisation des infrastructures hydrauliques
Rendre les ouvrages hydrauliques plus durables

Les recherches portent sur la restauration et la renaturation des cours d'eau et sur les aménagements hydrauliques. Le Carnot dispose d'une expertise unique pour l'étude de la fiabilité et des performances des ouvrages de protection (digues, barrages) et des réseaux d'eaux potables et d'assainissement. La conception de solutions fondées sur la nature fait actuellement l'objet de plusieurs projets de recherche.



Gestion des risques naturels
Protéger les populations des aléas climatiques extrêmes

Pour protéger les populations des aléas climatiques extrêmes, les unités de recherche se mobilisent pour développer des modèles permettant de prévenir les risques induits par les inondations, crues, avalanches, sécheresse, chutes de blocs... dans des contextes urbains ou naturels. Ils conçoivent également des outils d'aide à la concertation et à la décision pour gérer ces risques.

Notre équipe

Depuis fin 2023, le Carnot Eau & Environnement est dirigé par **Mohamed NAAIM**, Président du comité de pilotage, et **Stéphane RUY**, Directeur opérationnel. À leurs côtés, une équipe opérationnelle assure la gestion des projets et l'interface avec les unités de recherche, les tutelles, les partenaires et le réseau des Carnot depuis fin 2022: **Sophia MURAT EL HOUDIGUI** et **Noémie VOYAZOPOULOS**.



Mohamed NAAIM
Président du Comité de pilotage



Stéphane RUY
Directeur opérationnel



Sophia MURAT EL HOUDIGUI
Chargée d'affaires



Noémie VOYAZOPOULOS
Chargée de communication



La gouvernance

COS

Le Comité d'Orientation Stratégique a pour objectif de capter les grandes tendances et les signaux faibles des industriels, afin de mettre en place des projets de recherche fondamentale centrés sur les attentes de demain. Il regroupe donc une vingtaine de membres, représentants du monde socio-économique et partenaires du Carnot Eau & Environnement. Il se réunit une fois par an.

COPIL

Le Comité de Pilotage, présidé par Mohamed NAAIM, également chef du département des sciences aquatiques d'INRAE, est garant des orientations stratégiques et scientifiques du Carnot Eau & Environnement. Il regroupe donc les représentants des différentes tutelles du Carnot Eau & Environnement. Il se réunit environ cinq fois par an.

Nos composantes

Le Carnot Eau & Environnement rassemble 11 unités de recherche sous tutelles issues de 7 organismes publics INRAE, CNRS, IRD, INSA, Aix-Marseille Université, Université de Montpellier, Université Savoie Mont-Blanc – ainsi qu'un centre de ressources technologiques : l'Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives (IFTS).



Des unités de recherche réparties dans toute la France



Nos tutelles

Le Carnot Eau & Environnement est porté par 7 tutelles académiques et 1 Centre de Ressources Technologiques (l'IFTS), oeuvrant dans des problématiques liées à l'eau et à la gestion de la ressource:



INRAE, premier organisme de recherche spécialisé dans l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, accompagne l'émergence de systèmes agricoles et alimentaires durables.

► INRAE copilote le PEPR exploratoire OneWater, Eau Bien Commun aux côtés du CNRS et du BRGM. L'institut est également impliqué dans le soutien des collectivités et partenaires socio-économiques pour l'intégration de projections hydroclimatiques dans leur stratégie d'adaptation (projet Explore2).



Avec une offre de formation pluridisciplinaire et 18 laboratoires de recherche reconnus sur plan international, l'Université Savoie Mont Blanc (USMB) est un établissement à taille humaine qui conjugue proximité et ouverture sur l'international.

► L'USMB a obtenu le label « Campus Durable en ville durable » du dispositif « Agir Ensemble » sur la base du plan d'actions proposé autour de trois thèmes principaux: la végétalisation, la mobilité et la sobriété.



Acteur majeur de la recherche fondamentale à l'échelle mondiale, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) est le seul organisme français actif dans tous les domaines scientifiques.

► Le CNRS a lancé une cellule dédiée à l'eau en 2021, et copilote le PEPR exploratoire OneWater, Eau Bien Commun aux côtés d'INRAE et du BRGM.



Plus grande université francophone pluridisciplinaire, Aix-Marseille Université (AMU) abrite 122 structures de recherche en lien avec les grands organismes de recherche nationaux.

► Aix-Marseille Université et la Société du Canal de Provence (SCP) ont signé en 2024 un partenariat dédié à la recherche et l'innovation, avec pour thématique centrale « Eau, environnement, énergie et territoires ».



Les chercheurs de l'Université de Montpellier (UM) inventent des solutions pour demain, au service de l'Homme et de son environnement. En collaboration étroite avec les organismes de recherche, ils bénéficient de plateformes technologiques de haut niveau.

► L'UM, alliée avec le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation et l'UNESCO, a créé le Centre International UNESCO ICIREWARD, unique Centre UNESCO de recherche et de formation dédié à l'eau continentale en France, il compte parmi les plus importants au niveau international.



Le Groupe INSA (Institut national des sciences appliquées), composé de 7 campus et de 6 écoles partenaires, est le premier réseau des grandes écoles d'ingénieurs publiques françaises.

► L'INSA Lyon et les écoles du Groupe INSA sont engagées dans la Convention des entreprises pour le Climat (CEC), dans le but de faire émerger de nouveaux modèles économiques respectueux du vivant et des limites planétaires. Le projet Éco-Campus expérimental de l'INSA Lyon a remporté en 2020 le Trophée des Campus Responsables pour la gestion des eaux usées et des eaux pluviales sur le campus universitaire.



L'IFTS dispose d'un parc de moyens d'essais à la pointe de la technologie et d'une excellente équipe de scientifiques. Ils accompagnent les industriels du monde entier dans leurs projets de séparation liquide-solide et dans leurs activités de traitement de l'air ou d'épuration des gaz.

► L'IFTS est fortement impliqué dans le pôle régional Eau et Climat en Nouvelle Aquitaine permettant la promotion et la valorisation des savoirs sur l'eau et l'adaptation au changement climatique.

Les chiffres clés

Le Carnot Eau & Environnement

308

ETP recherche
Chercheurs, ingénieurs et
techniciens permanents

117

Doctorants par an
dont 20 thèses CIFRE



96

Post-doctorants & ingénieurs
mobilisés sur des projets
de recherche

740

Publications scientifiques
de nos chercheurs

Principaux secteurs d'activités



Les activités du Carnot®

120

Entreprises et
collectivités territoriales
rencontrées en 2024

135 /an

Contrats de recherche
actifs financés
par des partenaires
socio-économiques

Le budget annuel

50,5 M€

Les recettes partenariales

14,7 M€

Recettes avec partenaires socio-économiques

6 M€



Les
temp
forts

Rétrospective

Quelques événements 2023 autour de grands sujets de recherche comme la Réuse, les Micropolluants, la Gestion des eaux pluviales ou encore l'Empreinte eau.

Carrefour des Gestions Locales de l'Eau

31 janvier & 1^{er} février • Rennes

Le Carnot Eau & Environnement expose pour accueillir entreprises et collectivités souhaitant développer des projets de R&D. Stéphane RUY introduisait une conférence sur l'innovation au service de la transition hydrique, organisée par le Pôle DREAM, et l'unité REVERSAAL était présente sur le village des Solutions fondées sur la Nature, afin de présenter la Plateforme REFLET.



Congrès annuel de l'ASTEE

10 > 13-juin • Quimper

Participation active en tant qu'acteur de l'eau aux côtés des partenaires du secteur pour cette édition sur « L'eau, une ressource rare. Les eaux usées et les déchets, des ressources à mobiliser ».

PRIX & RÉCOMPENSES dans nos unités

Médaille d'Argent Dufrenoy de l'Académie d'agriculture de France



Samy CHELIL, doctorant à l'unité HYCAR d'INRAE a reçu la médaille d'argent Dufrenoy de L'Académie d'agriculture de France (AAF) pour sa thèse prometteuse sur la modélisation hydrologique du transfert des nitrates dans des systèmes de drainage artificiel des sols.

Grand Prix SHF de France



Jérôme LE COZ, chercheur de l'unité Riverly d'INRAE, a reçu le Grand Prix 2024 de la Société Hydrotechnique de France pour l'excellence de ses recherches sur l'eau et sa contribution à l'hydrotechnique française.

Rendez-Vous Carnot

16 octobre • Massy

Le rendez-vous incontournable de la R&D pour les entreprises qui souhaitent innover. Le Carnot Eau & Environnement intervenait aux côtés du Carnot MECD au sujet de la Ville durable : microclimats en milieux urbains.

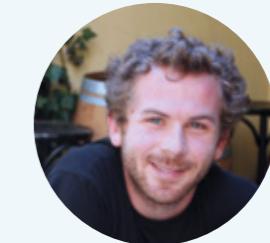


AQUA BUSINESS DAYS

11 & 12 décembre
Aix-en-Provence

Rendez-vous business des acteurs de la filière de l'eau, les Aqua Business Days organisés par le Pôle de compétitivité Aqua-Valley et Ae-entreprises, étaient dédiés à la gestion de l'eau face au changement climatique, avec un focus sur le tourisme, l'agriculture & l'industrie.

Bourse et récompense « Jeune chercheur »
Prix départemental pour la recherche en Provence



Arnaud SENTIS, chercheur à l'unité RECOVER d'INRAE, obtient une bourse Consolidator Grant du Conseil européen de la recherche pour son projet ClimateCountDown sur le devenir du phytoplancton et des poissons des lacs, ainsi que la récompense « Jeune chercheur » du Prix départemental pour la recherche en Provence 2024.

Prix "Défi scientifique" à la cérémonie des Lauriers d'INRAE



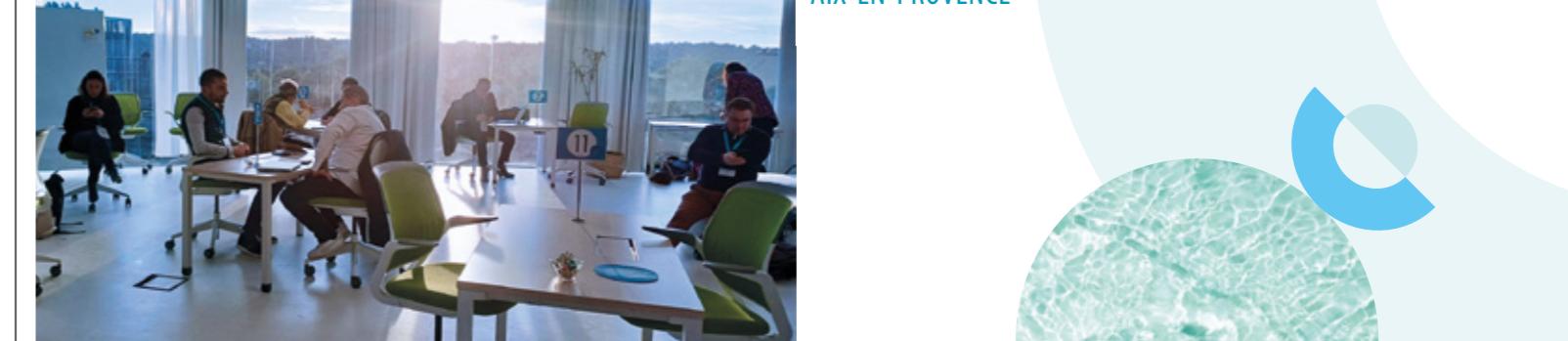
Thibault DATRY, chercheur à l'unité Riverly d'INRAE, a remporté le Prix "Défi scientifique" à la Cérémonie des Lauriers pour son travail sur les rivières intermittentes à travers le monde, élargissant le champ de recherche dont il est pionnier.

Retour en images...

... sur une année riche en rencontres, partages et découvertes ! Cette sélection retrace les temps forts 2024 qui ont fait rayonner la recherche et l'innovation pour le Carnot Eau & Environnement.



18
Rapport d'activités 2024



19
Rapport d'activités 2024

Les faits marquants des unités du Carnot

Des compétences au service de la recherche

Les chercheurs du Carnot conduisent des actions remarquables couvrant un large éventail de thématiques dans le secteur de l'eau, et publient des études ou des articles permettant de faire avancer la recherche. Voici quelques exemples de réalisations en 2024.



CARRTEL

Organisation de la première édition de Lac'Adémie

Le 2 octobre 2024, le Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et Écosystèmes Limniques (CARRTEL), en partenariat avec Asters – Conservatoire d'Espaces Naturels de Haute-Savoie (Asters-CEN74), a organisé la première édition de Lac'Adémie. Cette journée de formation et d'échanges, dédiée aux lacs d'altitude, a réuni chercheurs, gestionnaires et acteurs de terrain autour des enjeux scientifiques et de la préservation de ces milieux particulièrement sensibles au changement climatique.



DEEP

Deux doctorantes distinguées lors des Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine

À l'occasion des Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine (JDHU 2024), deux doctorantes du laboratoire DEEP ont été récompensées pour la qualité de leurs travaux en hydrologie urbaine. Milène CHABERT a reçu le Prix du jury pour le développement d'une méthode de quantification des flux de sédiments dans les réseaux pluviaux, tandis que Zoé IANNUZZI a remporté le Prix du public pour ses recherches sur les sources et transferts de microplastiques en milieu urbain.



EABX

Sturgeon Week

En septembre 2024, l'unité EABX a accueilli la Sturgeon Week, réunissant une cinquantaine d'acteurs internationaux engagés dans la conservation des esturgeons. Chercheurs, ONG et gestionnaires ont dressé un bilan des trente dernières années de suivi et défini de nouvelles pistes de conservation face aux menaces persistantes. L'événement a aussi mis en lumière les recherches en cours sur les mortalités liées aux captures accidentelles et sur la survie des juvéniles en milieux naturels.



CEREGE

Publication dans Regional Studies in Marine Science

En 2024, dans le cadre du projet Carnot PLASMA, les chercheurs du CEREGE ont publié dans la revue internationale *Regional Studies in Marine Science* une étude sur la distribution des microplastiques dans la baie de Marseille. Basée sur trois ans de suivi (2020-2022), elle met en évidence l'influence des intrusions du Rhône sur la contamination en microplastiques et propose un protocole d'extraction optimisé et plus écologique. Ces résultats apportent de nouvelles connaissances clés pour comprendre et gérer la pollution plastique en Méditerranée.



ETTIS

Convention signée entre INRAE et la Régie de l'eau de Bordeaux Métropole

Préserver la ressource en eau tout en garantissant performance et qualité de la gestion patrimoniale des réseaux grâce à la recherche, c'est l'enjeu de la convention signée entre INRAE et la Régie de l'eau de Bordeaux Métropole, qui permettra notamment d'engager 2 projets de recherche concrétisant la collaboration entre la Régie de l'eau de Bordeaux Métropole et l'unité de recherche ETTIS (Environnement, territoires en transition, infrastructures, sociétés), membre du Carnot Eau & Environnement.



HSM

Participation à des congrès et conférences

Conférence et animations scientifiques dans les Cévennes par Corinne CASIOT & Marina HÉRY, sur le thème des apports de la science dans la recherche de solutions pour la dépollution des eaux minières. Et participations au 19^{ème} Congrès National de la Société Française de Microbiologie (SFM), intitulé « Bienvenue chez les microbes », sur le thème de la surveillance de virus respiratoires et entériques dans les eaux usées de la métropole de Montpellier (Mahé LIABEUF, doctorante CIFRE) et l'étude de la dynamique de l'antibiorésistance en milieux aquatiques de la métropole de Montpellier (Camille FAVIER, doctorante).



IFTS

Accompagnement de la start-up KOB

En 2024, l'IFTS a accompagné la start-up toulousaine KOB (Kind of Blue) dans la validation de sa solution de filtration innovante à base de verre recyclé, alternative durable aux filtres à sable traditionnels. Cette expertise a contribué à consolider les performances de son usine pilote de production à Toulouse et, en parallèle, au déploiement d'une innovation prometteuse en France et à l'international lauréate des projets INNOV'EAU financés par l'ADEME. Cette dernière projette de valoriser les déchets de fabrication des médias de filtration en verre granulaire pour réaliser des filtres grâce un procédé de fabrication additive (projet incluant également le CIRIMAT et le CEA).



RECOVER

Colloque "Digues 2024"

L'unité RECOVER se mobilise à l'occasion d'un colloque sur les Digues, systèmes et ouvrages de protection contre les inondations d'origines maritimes et fluviales, organisé par INRAE avec le soutien du Ministère Écologie Territoires et le partenariat du Cerema, du Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR) et de France Digues.



RIVERLY

Lauréat d'un AAP européen sur le suivi des micropolluants

En 2024, l'unité RIVERLY a remporté un appel à projets européen et pris la coordination du réseau doctoral Pharm-ERA, dédié au suivi des micropolluants dans l'environnement. Ce programme international rassemble 10 doctorants recrutés fin 2024 pour développer des recherches de pointe sur cette

Thématique cruciale.
HYCAR
Workshop autour du projet DRHYM

Les 24 et 25 avril, l'unité HYCAR organisait sur l'implantation d'Antony un atelier international intitulé : "Data-driven hydrology and machine learning algorithms for water management and risk assessment". Initiative conjointe des projets Horizon Europe STARS4Water et ANR DRHYM, il a réuni une quarantaine d'hydrologues et experts en analyse de données venant de sept pays. L'objectif était de partager méthodes et expériences en matière d'utilisation de grands ensembles de données et d'approches d'apprentissage dans le domaine de l'hydrologie, dans la perspective de rendre ces démarches opérationnelles à terme pour la gestion de l'eau sur les bassins versants.



IGE

Un chercheur lauréat du prix de l'Académie des sciences

Florent GIMBERT, chargé de recherche au CNRS à l'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), a reçu le Prix sur la recherche scientifique en zone polaire et subpolaire 2024 de l'Académie des Sciences, en reconnaissance de ses travaux innovants sur les écoulements des glaciers et des rivières soumis aux changements climatiques. Dans le cadre de son projet ERC REASSESS, lancé en 2024, il développe, appuyé par les équipes techniques de l'IGE, de nouvelles contraintes observationnelles - notamment par sismologie - et des lois comportementales qui enrichissent les modèles d'hydrologie sous-glaciaire pour mieux prédire l'évolution passée et à venir du Groenland.



REVERSAAL

18^{ème} conférence internationale sur les systèmes végétalisés pour le traitement et la gestion des eaux

La 18^{ème} conférence internationale sur les systèmes végétalisés pour le traitement et la gestion des eaux (Wetland Systems for Water Pollution Control), qui se tient tous les 2 ans depuis 1988, a eu lieu à Fort-de-France en Martinique fin novembre 2024. Organisée par INRAE REVERSAAL, l'Office de l'eau (ODE) Martinique, la CAWASA et Hupanam, elle a réuni des experts et chercheurs de 50 pays pour partager les résultats des dernières recherches dans le domaine, partager des expériences et échanger sur de nouveaux concepts et technologies.



Les colla- borations



Les différentes formes de collaborations

Projet contractuel bilatéral

Il est construit à partir d'un besoin de l'entreprise et/ou de résultats des chercheurs intéressants les activités de l'entreprise. Le programme, le financement et la propriété des résultats sont définis dans un contrat. **Le projet est financé totalement ou partiellement par l'entreprise.** La propriété des résultats est partagée entre les partenaires en fonction de leurs apports respectifs. Un accord de copropriété et un contrat de licence sont établis afin que l'entreprise puisse exploiter les résultats obtenus dans des conditions adaptées à son marché.

Thèse CIFRE

Ce dispositif de l'ANRT permet de financer un doctorant co-encadré par une unité de recherche publique pour la réalisation d'un programme de recherche réalisé en partie au sein de l'entreprise et du laboratoire.

LABORATOIRE LYRE (SUEZ) / HYCAR

Suez assure l'alimentation en eau potable de plus de 10 millions d'habitants en France, avec 630 usines de production. Pour anticiper la disponibilité des ressources souterraines, grâce à une thèse CIFRE, Suez et INRAE unissent leurs expertises en modélisation hydrologique et en intelligence artificielle pour développer des modèles de prévision, qui devront s'adapter à divers contextes hydrogéologiques et horizons de prévision.

Laboratoire commun

Une entreprise et un laboratoire de recherche mutualisent des moyens de recherche pour mettre en œuvre une feuille de route de recherche et d'innovation commune. Les résultats sont exploités par l'entreprise. Actuellement, les unités du Carnot Eau & Environnement sont engagés dans 4 Laboratoires communs:

LABORATOIRE PARTENARIAL ASSOCIÉ RIVERLY / BIOMAE

Partenariat du laboratoire Eco-toxicologie de l'unité RIVERLY (INRAE) avec la société Biomae pour mener des recherches sur la contamination chimique des organismes et populations aquatiques en eau douce, développant des méthodes pour évaluer la toxicité des polluants et diagnostiquer la contamination dans les milieux aquatiques, en utilisant notamment le gammare, un crustacé amphipode d'eau douce, comme espèce sentinelle..

LABORATOIRE PARTENARIAL ASSOCIÉ CARRTEL / SCIMABIO INTERFACE

L'unité CARRTEL (Université de Savoie Mont-Blanc, INRAE) et la société Scimabio interface ont décidé de mutualiser leurs compétences scientifiques et de créer le Laboratoire Partenarial Associé « Inn-EauvaTOOLS ». Ce laboratoire commun est dédié au développement d'outils innovants, en particulier à partir d'approches moléculaires, permettant d'améliorer les diagnostics de fonctionnalité écologique des lacs et rivières..



Collaboration simple

Une entreprise fait appel à un laboratoire pour répondre à un besoin ponctuel et finance totalement ou partiellement les travaux de recherche. Un contrat définit le programme de travail, les moyens spécifiques affectés par chaque partie, la propriété et la disponibilité des résultats.

ARTELIA / HSM

L'entreprise ARTELIA a sollicité le laboratoire HSM pour faire des recherches sur une meilleure modélisation des aquifères de Dabou et Nieki. HSM a montré l'intérêt de l'apport d'observations de localisation des sources, de mesure de leur altitude et de jaugeages du débit des cours d'eau alimentés par ces sources pour une meilleure caractérisation hydrostructurale de l'aquifère.

Projet de recherche collaborative

Il implique plusieurs partenaires publics et privés.

Le projet permet d'adresser plusieurs questions autour d'un objectif collectif. Il est formalisé par un accord de consortium. Il est souvent construit en réponse à un appel à projets financé sur fonds publics français ou européens. La propriété des résultats est partagée entre les partenaires en fonction de leurs apports. Un modèle économique spécifique permet d'exploiter les résultats obtenus par l'ensemble des partenaires à la fin du projet.

PROJET DIADES

Après 4 années de recherche, les équipes pluridisciplinaires du projet DiadES (Diadromous fish and Ecosystem Services. Services écosystémiques et poissons migrateurs amphihalins face au changement climatique), dont des scientifiques de l'unité EABX (INRAE), mettent en lumière 5 recommandations pour une gestion durable et internationale des poissons migrateurs le long de la façade atlantique européenne. Cette initiative réunit 30 partenaires européens.

Projet européen financé par le programme Interreg Espace Atlantique du Fond Européen de Développement Régional (FEDER).



Prestations d'essais ou d'études

Elles mobilisent des moyens originaux disponibles dans les **plateformes techniques** et l'**expertise associée** des chercheurs pour répondre au cahier des charges fournies par l'entreprise. L'entreprise est propriétaire des résultats des essais.

DURA GBM

La plateforme Géomécanique de l'unité RECOVER d'INRAE met à la disposition de partenaires publics et privés des équipements et compétences de pointe en matière d'aménagements hydrauliques. Les équipes des laboratoires Géomécanique et Géosynthétiques pilotent la plateforme et développent des projets de recherche partenariale, soutenus par le Carnot Eau & Environnement.



Conseil et expertise

Les **scientifiques du Carnot** peuvent mobiliser des approches et des **outils novateurs** pour répondre à des problématiques rencontrées par ses partenaires.

PROJET AVIDE

Depuis 2023, l'IFTS mène pour la ville d'Agen le projet AVIDE (Agen, Ville végétale et DÉsirable) en réalisant une étude de faisabilité technico-économique sur l'utilisation d'eau non conventionnelle pour l'arrosage des espaces végétalisés de la Ville

PROJET REUT'O'SUD

Le CEREGE (Aix-Marseille Université) apporte son expertise scientifique au projet REUT'O'Sud, porté par la Société du Canal de Provence et la Région Sud. Objectif: développer la réutilisation des eaux usées traitées pour préserver la ressource en eau face aux défis climatiques, économiques et démographiques du territoire.





Les 
Projets
financés par
le Carnot®



Deux types de projets soutenus

Ressourcement scientifique

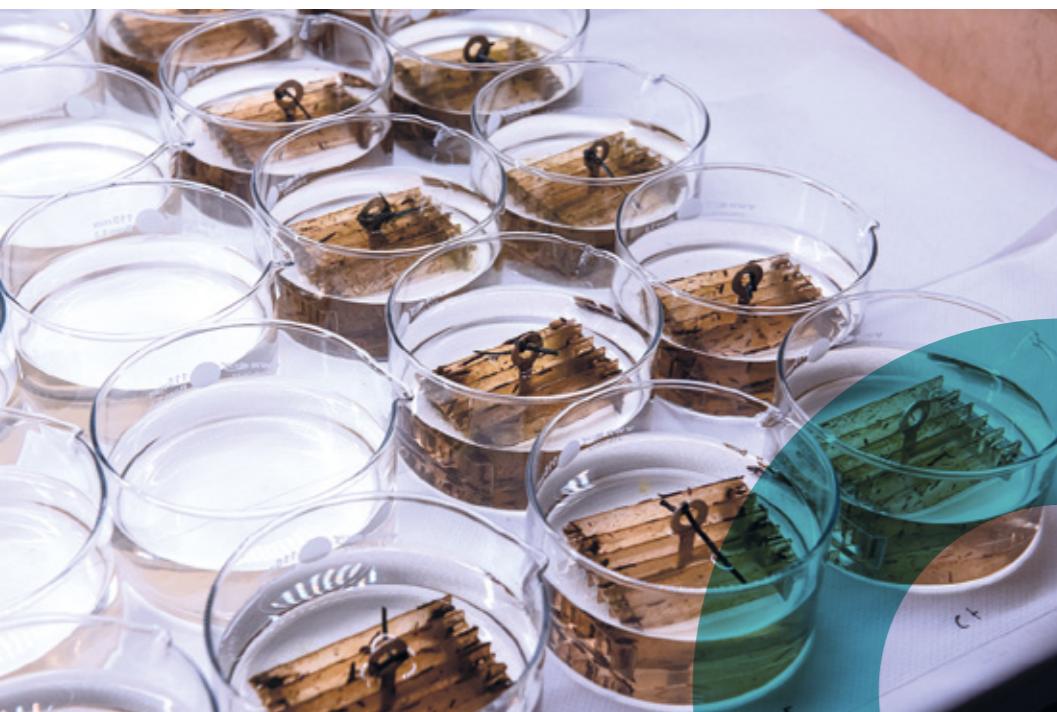


Ce sont des projets qui permettent de produire de nouveaux résultats et connaissances. Ils anticipent les demandes des partenaires socio-économiques et augmentent le potentiel de partenariat du Carnot Eau & Environnement. Ils sont conçus pour maintenir l'avance scientifique du Carnot Eau & Environnement par la production de nouvelles connaissances qui permettront, après la fin du projet, de construire de nouveaux projets avec des partenaires socio-économiques.

Préincubation transfert-innovation (PITI)



Ce sont des projets qui s'appuient sur des résultats existants. Ils permettent aux unités de conduire les actions qui conduiront dès la fin du projet à un projet partenarial ou à un transfert vers un partenaire socio-économique (preuve de concept, renforcement de la propriété intellectuelle, réalisation d'un prototype, étude de marché ou d'opportunité...).



EN
2024



660 K€

Montant des aides allouées aux unités

Projets de ressourcements financés

5

Projets PITI financés

4

Projets innovants

Chaque année, le Carnot Eau & Environnement finance des projets de recherche portés par des chercheurs de ses composantes, grâce à l'abondement reçu de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Voici quelques projets au service des entreprises, financés par le Carnot Eau & Environnement en 2024.



EAUPALE

Les solutions de gestion durable des EAUX Pluviales face aux enjeux de justice environnementale et sociALE

Ce projet a pour objectif d'étudier le rôle des solutions de gestion durable des eaux pluviales face aux enjeux de justice environnementale et sociale dans les projets d'aménagement de territoires, à l'aune des enjeux de justice environnementale. Alors qu'elles sont majoritairement présentées comme permettant d'améliorer le cadre de vie des résidents, ce travail pluridisciplinaire testera l'hypothèse selon laquelle les Solutions de Gestion Durable des Eaux Pluviales (SGDEP) s'accompagneraient de phénomènes de désaménités (nuisances, risques et pollutions), et si, dans les faits, elles ne contribuaient pas plutôt à se cumuler ou à accentuer des inégalités socio-économiques pré-existantes.



Optimisation des infrastructures hydrauliques



Durée
3 ans
2024 > 2027



Porteuse du projet Ressourcement
Bénédicte RULLEAU



Unité impliquée dans ce projet
ETTIS

EPO

Évaluation du Potentiel de transport de l'Oxygène en réponse à l'augmentation de la température

Le changement climatique exerce une pression croissante sur les écosystèmes, mais ses impacts écologiques restent encore mal compris, tout comme les capacités d'adaptation des organismes face à des conditions extrêmes. Cette méconnaissance limite nos capacités à anticiper et gérer les effets du réchauffement, notamment dans le cas des effluents thermiques des centrales nucléaires (CNPE).

Mieux connaître la tolérance des espèces au stress thermique devient donc crucial. Les approches métaboliques, centrées sur les liens entre température et fonctionnement énergétique, ont pris une importance majeure. Longtemps basées sur la respirométrie individuelle, elles s'enrichissent aujourd'hui d'analyses du fonctionnement mitochondrial. Cependant, un pan essentiel reste encore peu exploré : les mécanismes de transport de l'oxygène, pourtant déterminants pour comprendre la résistance des organismes à la chaleur.

L'équipe Freshco collabore depuis plusieurs décennies avec EDF pour évaluer les impacts écologiques des CNPE. Avec le projet EPO, elle complète ses travaux métaboliques en étudiant, chez deux poissons modèles — le médaka et le spirlin du Rhône —, les effets conjoints de la température instantanée et de l'exposition prolongée à la chaleur sur la capacité à transporter l'oxygène.

Ces recherches visent à affiner la compréhension des marges d'adaptation thermique des espèces aquatiques et à fournir des recommandations éclairées pour la gestion durable des effluents des CNPE.



Surveillance de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques



Durée
2 ans
2024 > 2026



Porteur du projet Ressourcement
Martin DAUFRESNE



Unité impliquée dans ce projet
RECOVER



Embryo

Développement d'un test chez les embryons de poisson pour évaluer la toxicité chimique des milieux aquatiques

La surveillance des milieux aquatiques est essentielle pour leur préservation et leur restauration. Pourtant, les biotests de terrain utilisé aujourd’hui restent limités et reposent presque exclusivement sur les invertébrés, comme le crustacé *Gammarus fossarum*, seule méthode actuellement normalisée par l’Afnor. Pour mieux évaluer la qualité des milieux, il devient nécessaire d’élargir la palette des organismes tests afin de refléter la diversité biologique et les différences de sensibilité entre espèces.

Les embryons de poisson, connus pour leur forte sensibilité aux polluants, représentent un modèle prometteur. Cependant, leur utilisation sur le terrain se heurtait jusqu’ici à des contraintes techniques empêchant une application à grande échelle.

Les unités RiverLy et EABX ont récemment levé ce verrou en développant un dispositif innovant permettant d’exposer en continu des embryons de poisson à des eaux naturelles tout en garantissant des conditions de développement optimales.

Porté par le projet Embryo, ce dispositif vise à créer un nouveau biotest de terrain applicable à différentes espèces et contextes environnementaux. Testé sur une année, en sites contaminés et non contaminés, il permettra d’évaluer la sensibilité des embryons, de comparer les espèces candidates et de définir les conditions de mise en œuvre en routine.

À terme, ce projet ouvrira la voie à un nouvel outil de surveillance biologique, proposé comme service aux acteurs de la gestion de l’eau.

Surveillance de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques



Durée
2 ans
2024 > 2026



Porteurs du projet Ressourcement
Olivier GEFFARD & Éric ROCHARD

Unités impliquées dans ce projet
RIVERLY, EABX



ALEVIN

Aquaculture et eLEVage INnovants: Bio sécurisation de l'élevage des poissons et de l'environnement pour une transformation bleue de l'aquaculture

L’aquaculture joue un rôle essentiel pour nourrir la population mondiale tout en limitant la surexploitation des ressources halieutiques. Mais cette filière, dépendante d’une eau de qualité, subit de plein fouet les effets du changement climatique: sécheresses prolongées, pénuries, crises sanitaires... autant de menaces pour la production et la pérennité des élevages.

Pour y répondre, l’innovation s’oriente vers des solutions technologiques capables d’optimiser l’usage de l’eau et d’en garantir la qualité. Parmi elles, les procédés membranaires apparaissent comme une piste prometteuse. Déjà éprouvés dans le dessalement ou le traitement des eaux usées, ils offrent de nombreux atouts: modularité, compacité, stabilité de la qualité de l’eau, et fonctionnement sans produits chimiques. Leur principal défi reste toutefois le colmatage, qui peut limiter leur performance selon la qualité de l’eau et les conditions d’exploitation.

C'est dans ce contexte que le projet collaboratif ALVIN est lancé, réunissant l’IFTS (Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives) et l’unité EABX, experte en élevage piscicole expérimental. Organisé en trois phases – laboratoire, pilote et industriel –, ce projet vise à évaluer la pertinence de l’ultrafiltration (UF) pour traiter l’eau entrant et sortant des bassins, à différents stades de croissance des poissons.

L’UF permettra notamment de retenir bactéries, parasites et virus, tout en examinant ses effets sur la qualité physico-chimique et microbiologique de l’eau, la santé et la croissance des poissons (esturgeons ou saumons). Le dispositif testera aussi la capacité à éliminer les micropolluants (pesticides, microplastiques). Soutenu par des acteurs professionnels tels que Pure Salmon et des producteurs d'esturgeon de Nouvelle-Aquitaine, ce projet ouvre la voie à une aquaculture plus résiliente et durable.

Surveillance de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques



Durée
3 ans
2024 > 2027



Porteurs du projet Ressourcement
Tarik ELJADDI & Patrick CHEVRE

Unités impliquées dans ce projet
IFTS, EABX



AQUA-GéoPhi

Couplage entre observations géophysiques et modèles géomécaniques pour l'étude des aménagements hydrauliques et de la ressource en eau

Garantir la sûreté des digues et barrages, tout comme optimiser la gestion de l’eau souterraine pour l’agriculture, repose sur une même exigence: mieux comprendre les processus physiques à l’œuvre dans le sous-sol. Dans les aménagements hydrauliques, il s’agit de détecter précocement les phénomènes anormaux liés aux écoulements d’eau (érosion interne, tassements, fontis, sand-boils...). En agriculture, l’enjeu est d’identifier et de suivre la réserve en eau du sol, les transferts hydriques et les prélèvements par les plantes.

Pour répondre à ces besoins, une méthodologie commune est développée, combinant observations géophysiques et modélisation hydrogéomécanique. Cette approche permet d’investiguer le sol de manière non destructive, en analysant la propagation d’ondes électriques et sismiques dont les caractéristiques renseignent sur la teneur en eau, la composition, la porosité ou encore la structure racinaire du milieu.

Les signaux recueillis sont ensuite interprétés grâce à des algorithmes avancés couplant modélisation et méthodes d’optimisation pour produire des images précises du sous-sol. Deux sites expérimentaux serviront de terrain d’étude: une parcelle agricole sur le site INRAE d’Avignon, et une digue hydraulique instrumentée dans le sud de la France. Ces travaux de terrain seront complétés par des expérimentations en laboratoire, menées selon le même protocole.

Ce projet, soutenu notamment par deux thèses en cours, vise à lever des verrous scientifiques et techniques tout en mutualisant compétences et équipements au service d’une meilleure connaissance du sous-sol et de ses dynamiques hydriques.

Optimisation des infrastructures hydrauliques



Durée
3 ans
2024 > 2027



Porteurs du projet Ressourcement
Pierre PHILIPPE, Arnaud MESGOUEZ & Rémi CLÉMENT

Unités impliquées dans ce projet
RECOVER, EMMAH, REVERSAAL



AcouSed

Interface graphique pour le calcul des concentrations de sédiments en suspension dans les rivières par mesure de rétrodiffusion acoustique multi-fréquence

Une nouvelle méthode de mesure basée sur la rétrodiffusion acoustique multi-fréquence a été développée dans le cadre de la thèse d’Adrien Vergne (2018), au sein de l’équipe Hydraulique des Rivières de l’unité RiverLy (INRAE), en collaboration avec la CNR. Cette approche permet de visualiser le champ de concentration 2D des matières en suspension (sédiments fins et sables) circulant dans une rivière, grâce à une inversion du signal acoustique rétro-diffusé adaptée aux suspensions fluviales.

Si cette théorie acoustique a démontré son efficacité, elle demeure complexe à mettre en œuvre, les scripts informatiques existants étant longs, peu génériques et difficilement exploitables par des non-spécialistes. Pour en faciliter l’usage, une interface graphique, nommée AcouSed, a été développée en Python (PyQt). Reliée au système de mesure AQUAscat (Aquatec), elle simplifie grandement le traitement des données et rend cette méthode accessible aux praticiens du transport sédimentaire.

L’objectif est désormais d’étendre AcouSed à d’autres instruments, notamment le UBSediFlow (Ubertone), et à de nouveaux contextes d’application.

Gestion des risques naturels



Porteuse du projet Ressourcement
Céline BERNI

Durée
6 mois
2024 > 2025



Unité impliquée dans ce projet
RIVERLY



BedloadWeb

Un outil pour évaluer et gérer les dynamiques d'évolution morphologique des cours d'eau

Le transport solide par charriage, moteur essentiel de l'évolution des lits de rivière, reste encore mal compris en raison de la complexité des phénomènes et de leur difficulté d'observation, notamment en période de crue. Cette méconnaissance laisse souvent les techniciens et gestionnaires de cours d'eau sans outils adaptés pour évaluer et gérer ces dynamiques.

Pour répondre à ce besoin, l'équipe à l'origine du code BedloadR a développé BedloadWeb — une plateforme en ligne (<https://www.bedloadweb.com>) à la fois pédagogique et opérationnelle, conçue pour accompagner les bureaux d'études dans la conception de projets hydrosédimentaires. Lancé en 2016 avec le soutien de l'OFB, l'outil s'est imposé en sept ans comme une interface privilégiée entre la recherche (INRAE) et le secteur opérationnel, favorisant collaborations, co-constructions de projets et actions de formation.

Face à une communauté d'utilisateurs en constante expansion, une nouvelle phase de développement s'engage. Elle vise à pérenniser et renforcer l'outil: réécriture du code sous forme de modules, mise à jour de la documentation technique, et structuration d'une communauté de développeurs-utilisateurs capable de faire évoluer collectivement le logiciel.

Le projet prévoit également d'améliorer la stabilité et la sécurité du serveur, tout en ajoutant de nouvelles fonctionnalités, pour renforcer encore le rôle de BedloadWeb comme vecteur de transfert des connaissances scientifiques vers la pratique.

Gestion des risques naturels



Durée
18 mois
2024 > 2025



Porteur du projet Ressourcement
Alain RECKING



Unité impliquée dans ce projet
IGE



CHESH

Capteurs Hydrologiques et Écotoxicologiques à faible coût pour le suivi environnemental

Dans un contexte de raréfaction et d'inégale répartition des ressources en eau, particulièrement marqué en zone méditerranéenne, la surveillance fine des hydrosystèmes devient cruciale pour répondre aux besoins humains et environnementaux. Les méthodes actuelles peinent à assurer un suivi *in situ* continu des nombreuses variables nécessaires à la compréhension du fonctionnement des milieux aquatiques tout en maîtrisant le coût financier associé.

Le projet propose de développer des « sentinelles hydrologiques » HydroSense : des boîtiers multiparamètres innovants, connectés, peu coûteux, économies en énergie et conçus selon une logique d'innovation frugale. Ces capteurs permettront un suivi en temps réel de la physico-chimie de l'eau et la détection d'événements polluants transitoires, grâce à une ingénierie simple, efficace et à un maillage spatial dense.

Basés sur la centrale prototype Plumb issue du projet SMOAG (MITI – CNRS/IRD), les dispositifs HydroSense seront couplés à des web services et applications mobiles, au service des scientifiques, gestionnaires, décideurs et citoyens.

Deux zones ateliers seront instrumentées pour tester ces outils dans des contextes contrastés : le bassin du Rhône et le bassin de Nahr El Jaouz au Liban, tous deux soumis à des fluctuations climatiques extrêmes.

Les sentinelles seront également évaluées en conditions contrôlées sur le dispositif CIRENE, afin de valider leur robustesse et leur performance pour une surveillance hydrologique en temps réel, accessible et durable.



Surveillance de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques



Durée
18 mois
2024 > 2025



Porteur du projet Ressourcement
Laurent DRAPEAU



Unité impliquée dans ce projet
CEREGE



DeFi

Détection de sédiments fins déposés sur les formes alluviales

Les sédiments fins jouent un rôle important dans la morphodynamique des rivières (stabilisation des bancs, installation de la végétation...). L'équipe Hydraulique de Rivières de l'UR RiverLy mène depuis 5 ans des recherches pour mettre au point, calibrer et valider une méthode automatique (DeFi) pour estimer la surface des dépôts de sédiments fins sur des bancs de sédiments plus grossiers (Deng et al., 2023a). Cette méthode a ensuite pu être appliquée avec succès sur une série de 2 ans de données (Deng et al. 2023b), ce qui démontre son potentiel pour réaliser des monitorings ponctuels ou de long terme des dépôts de sédiments fins. La société GeoPeka a notamment montré son intérêt pour ces travaux en vue d'un possible transfert à terme. Cependant, les images analysées provenaient exclusivement de la caméra time-lapse installée sur la rivière Arc (vallée de la Maurienne). Il est donc nécessaire de tester puis recalibrer voire adapter la méthode DeFi à de nouveaux contextes : différents fonctionnements hydro-morphologiques, différentes minéralogies des sédiments, ... D'autre part, la présence de végétation herbacée mais surtout ligneuse a été identifiée comme source de dégradation des résultats de la méthode DeFi, aussi est-il indispensable de la détecter.

L'objectif du présent projet est donc d'une part de consolider la preuve de concept du code DeFi en le déployant sur d'autres rivières et bassins versants pour lesquels la production de sédiments fins est importante. Il est, d'autre part, de détecter les zones végétalisées pour améliorer les résultats des détections en présence de végétation.



Durée
18 mois
2023 > 2026



Porteur du projet Ressourcement
Lionel PENARD



Unité impliquée dans ce projet
RIVERLY



Les organismes tutelles



INRAE

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON



amU
Aix
Marseille
Université



amU
Aix
Marseille
Université



Directeur de la publication Stéphane RUY, Directeur du Carnot Eau & Environnement
Rédaction Noémie VOYAZOPOULOS
Création graphique ©Bird Idea | Mise en page ©Lilou.B
Crédits photo ©INRAE, ©Carnot Eau & Environnement, Freepik.com, Pxhere.com,
Christian Chauvin, Bertrand Nicolas



www.carnot-eau-environnement.fr