



LE CACOH 85 ans

DE PASSION ET D'INNOVATION

pour un aménagement sûr
et durable des fleuves



Préface

Ma première découverte du CACOH, qui se dénommait alors le « laboratoire d'hydraulique et d'essais matériaux », remonte au tout début des années 2000. Jeune ingénieur à l'Office National des Forêts, je faisais partie d'une équipe composée de spécialistes dans le domaine des risques naturels en montagne. Cette équipe avait confié à CNR l'étude sur modèle physique d'un ouvrage de régulation des apports sédimentaires d'un impétueux torrent des Pyrénées. J'ai encore un souvenir très précis de cette première rencontre où se mêlaient indifféremment des sentiments d'émerveillement et de fierté. Émerveillement de pénétrer dans un lieu de créations et d'innovations techniques aux dimensions phénoménales, où le savoir-faire artisanal de haute précision s'articule en totale synergie avec les dernières technologies de pointe. Fierté de voir se concrétiser un projet mettant en œuvre l'outil d'analyse le plus pertinent en hydraulique torrentielle, le modèle réduit physique, et de faire appel à un des laboratoires les plus renommés dans ce domaine. Depuis cette rencontre déterminante dans mon choix de rejoindre CNR quelques années plus tard, les compétences, les missions et les responsabilités des équipes qui composent actuellement le CACOH se sont considérablement enrichies. Hydraulique et modélisation physique, ingénierie des matériaux, hydrométrie, hydrographie, surveillance et analyse comportementale des

ouvrages de génie civil, gestion sédimentaire : il est remarquable de concentrer sur un site unique une telle diversité de compétences ! Il est également rare de rassembler des équipes en aussi forte interaction et intervenant sur tout le cycle d'un ouvrage, de sa conception à sa maintenance en passant par sa construction et son exploitation. Cet héritage précieux a été construit au fil du temps par nos « anciens » pour répondre aux exigences opérationnelles liées à la conception, à l'exploitation et à la maîtrise de la sûreté des ouvrages hydrauliques aménagés sur un fleuve aussi impétueux que le Rhône. Il donne ainsi aux équipes actuelles du CACOH des atouts incomparables pour accompagner CNR dans ses ambitions de demain. L'édition d'un livret commémoratif et la mise en place d'un parcours scénographique au CACOH, 85 ans après sa création, sont ainsi une invitation adressée à nos visiteurs pour embrasser toute cette richesse humaine et technique. Et je l'espère aussi, pour vivre le même émerveillement et la même fierté que j'ai vécu il y a 20 ans, et que je continue quotidiennement à ressentir quand je pénètre dans ce lieu emblématique de l'histoire technique de CNR.

Christophe Peteuil

**Responsable du Centre d'analyse comportementale
des ouvrages hydrauliques (CACOH) de CNR**

1936-2017 : de la naissance à l'âge adulte

Lorsque CNR voit le jour en 1933, sa feuille de route est aussi noble que passionnante : aménager le Rhône dans un triple objectif de production d'hydroélectricité, d'amélioration de la navigation et d'irrigation d'une vallée au fort potentiel agricole. Pour valider la construction d'ouvrages de grande dimension tels que les historiques barrages-centrales de Génissiat ou Bollène, elle a besoin de plans, d'analyses, de notes techniques...

En 1936, elle crée un premier laboratoire dédié aux études hydrauliques sur modèles physiques. Celui-ci s'établit à Gerland dans les locaux d'une ancienne usine acquise lors de l'aménagement du Port de Lyon Édouard Herriot. La première étude porte sur les galeries de dérivation provisoires de Génissiat. Un second laboratoire d'essais est monté dans la foulée, à Bellegarde, pour réaliser *in situ* des essais sur les sols et les bétons mis en œuvre pour la construction.

Barrage de Génissiat
en construction



Ces deux laboratoires forment le socle du futur CACOH et démarrent avec des moyens assez artisanaux. À Gerland, une petite équipe de 3 personnes dans les années 1940-1950, puis de 9 personnes à partir de 1964, compose avec des conditions assez spartiates. En dépit d'améliorations progressives au fil du temps, les études portant sur les ouvrages les plus complexes sont confiées aux laboratoires d'EDF notamment. L'unité matériaux de Bellegarde semble comparativement mieux équipée. Pendant la guerre, CNR recourt au système D afin de maintenir l'activité puis, pour davantage de proximité avec les chantiers, transforme ce laboratoire en antenne mobile. Après Bellegarde-Génissiat, c'est à Bollène qu'il est implanté en 1948. Ce sera ensuite Montélimar en 1955, Bourg-lès-Valence en 1961. La gamme des essais s'élargit pour répondre aux besoins spécifiques de chaque chantier.



Barrage de la Roche de Glun en construction

Modèle physique du
barrage de Génissiat



QUELQUES TEMPS FORTS

1936

Création du laboratoire
d'hydraulique et de
modélisation physique de
Gerland

1982

Fusion des 2 laboratoires
d'essais hydraulique et
matériaux

2002

Intégration des activités
de mesure et suivi
hydrométrique et
hydrographique

2012

Incorporation des missions
d'auscultation et création
du Centre d'Analyse
Comportementale des
Ouvrages Hydrauliques

2017

Pilotage des enjeux liés
à la gestion sédimentaire
du fleuve

UN DÉVELOPPEMENT PROGRESSIF DES ANNÉES 1960 À 1980

Ces décennies marquant une période intense d'aménagements sur le Rhône ne sont pas synonymes de forte expansion pour les deux laboratoires. Le personnel demeure réduit, l'aménagement des bâtiments à Gerland est rudimentaire, l'antenne matériaux dispose d'un espace qui n'est pas à la mesure de ce qu'elle souhaiterait...

Pour autant, compétences et expertises sont de plus en plus sollicitées. Le laboratoire « sols et bétons » met au point de nouveaux essais. Les études hydrauliques engagées sur Pierre-Bénite (1961-1967) concernent l'implantation du futur aménagement en milieu urbain, celles de Bourg-lès-Valence (1964-1967) s'intéressent au déchargeur de l'usine et au radier du barrage de l'Isère, les modèles éprouvés pour l'aménagement de Vallabrègues (1966-1969) combinent analyses d'équipements et de seuils.

En 1969, CNR décide de scinder l'étude de l'usine-écluse de l'aménagement d'Avignon en deux lots, car celui-ci soulève des problèmes hydrauliques délicats. La construction d'un modèle à l'échelle 1/70^e représentant le canal de fuite et la partie aval de l'usine-écluse est confiée à l'entreprise extérieure Sogreah ; l'amont de l'usine est étudié à Gerland, qui concentre ses études sur le champ d'inondation de la plaine de Montfaucon Roquemaure. Deux modèles sont construits à cet effet : le premier au 1/150^e, le second au 1/300^e. L'efficacité et la précision de ce travail amènent CNR à reconsidérer les compétences de son laboratoire, qui, selon les témoignages, « est pris au sérieux à partir de ce moment-là ».

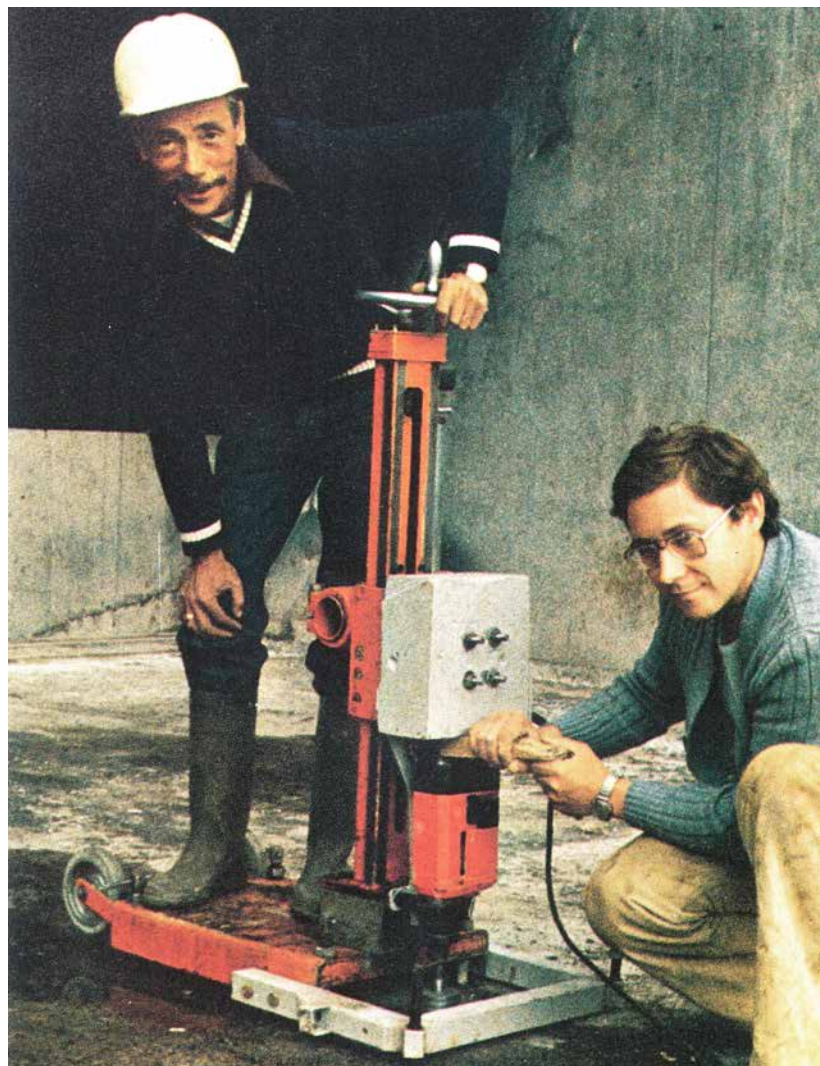
Aménagement de Pierre Bénite
en construction



Barrage de Vallabrègues en construction

« Quand on a commencé, on fabriquait nous-mêmes certains appareils : on avait aussi des moulinets fournis par Neyrpic assez volumineux et quand on voulait prendre des vitesses sur les modèles, on se mettait sur des planches, accroupis, on trempait le moulinet, on chronométrait le nombre de tours sur 30 secondes... »

Robert Tavano, technicien au laboratoire de 1961 à 1999



Opération de carottage sur l'aménagement de Chautagne



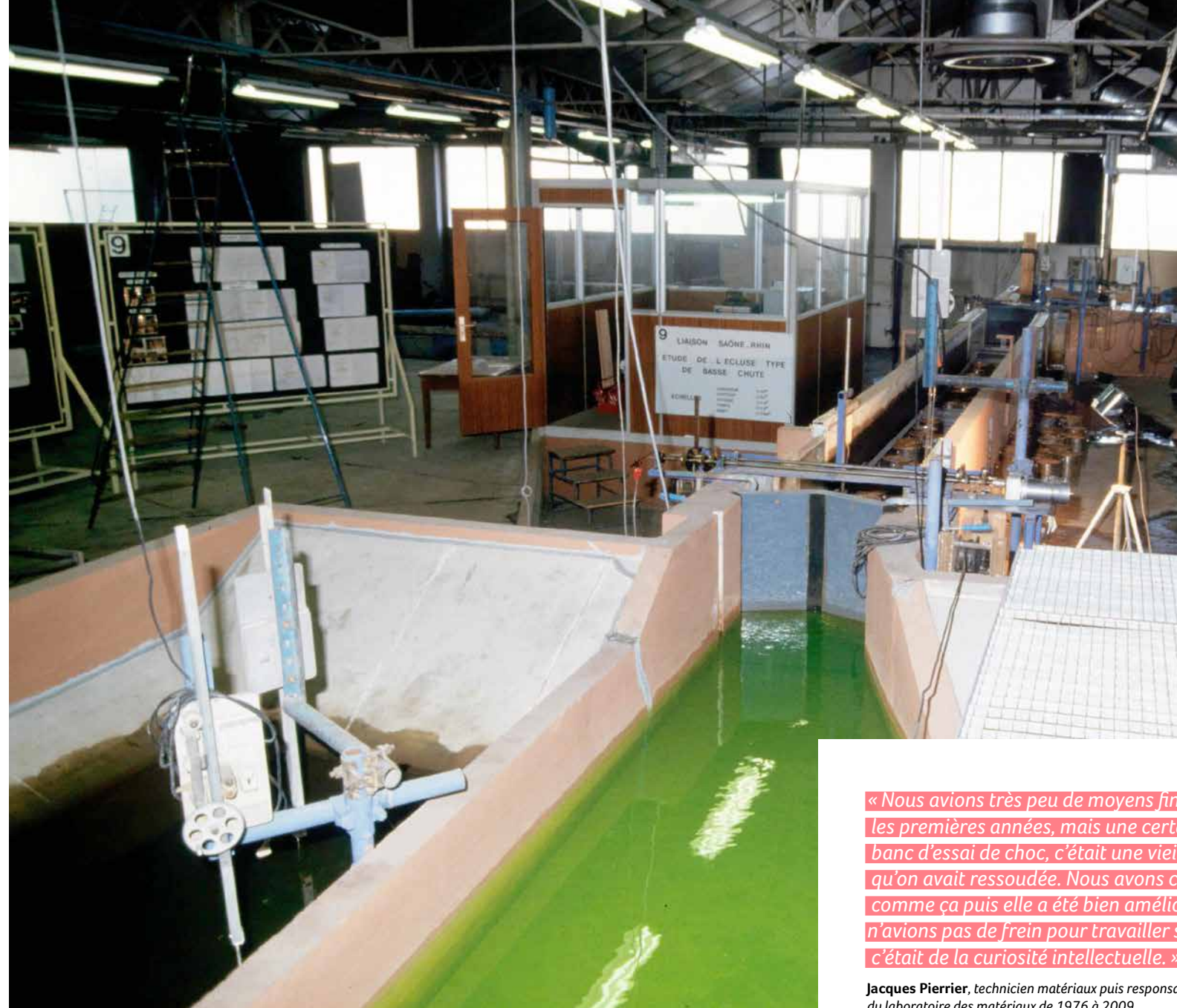
Laboratoire de Gerland pendant sa reconstruction en 1981



Laboratoire de Gerland après reconstruction

1980-1984: UN PREMIER REGROUPEMENT

Autour des années 1980, la formidable ambition de la liaison Rhin-Rhône et la volonté de développer l'activité d'ingénierie au bénéfice de clients externes amènent CNR à repenser son organisation. De nouveaux essais sont à développer et CNR décide de regrouper les deux entités « hydraulique » et « matériaux » à Gerland, en 1982, au sein d'une structure rebaptisée « Laboratoire d'hydraulique et d'essais des matériaux ». Pour accueillir les nouveaux venus, le site est totalement modernisé ; il dispose de 3 000 m² de halls d'essais et de laboratoires et de 1 200 m² de bureaux et locaux annexes pour réaliser des études hydrauliques sur modèles réduits (jusqu'à 10 en simultané) et des essais sur matériaux *in et ex-situ*. Une équipe de 20 personnes officie ici.



Modèle physique d'une écluse pour l'aménagement Saône - Rhin

« Nous avons très peu de moyens financiers dans les premières années, mais une certaine liberté. Le banc d'essai de choc, c'était une vieille bétonnière qu'on avait ressoudée. Nous avons commencé comme ça puis elle a été bien améliorée. Nous n'avions pas de frein pour travailler sur le sujet, c'était de la curiosité intellectuelle. »

Jacques Pierrier, technicien matériaux puis responsable du laboratoire des matériaux de 1976 à 2009

L'ESSOR DE L'ACTIVITÉ ET LES PREMIERS PAS À L'INTERNATIONAL

À la fin des années 1980, le programme d'aménagement est en passe de s'achever. Il n'y a plus lieu, pour l'heure, de soutenir l'activité de construction, mais il faut surveiller les ouvrages, garantir leur sûreté et optimiser leur exploitation.

Il convient aussi de trouver de nouveaux gisements d'activité ! Du côté de l'hydraulique, l'équipe planche sur la création de rivières artificielles et sur la conception des ouvrages hydrauliques de la future ligne TGV Sud-Est, qui suscitent de nombreuses inquiétudes chez les maires et les habitants des communes traversées. Les études visent à minimiser l'impact hydraulique du tracé sur les territoires. Les équipes innovent ; elles développent des modèles physiques à fonds mobiles pour évaluer les conséquences du projet sur la morphologie des cours d'eau. Elles œuvrent également à l'international. En 1988, les 90 000 victimes d'une crue du Brahmapoutre au Bangladesh suscitent la mobilisation de la communauté mondiale. En France, un consortium est organisé pour bâtir des digues, des dispositifs de drainage et d'irrigation. CNR pilote ce consortium aux côtés notamment de Sogreah et d'EDF. Le laboratoire de Gerland construit un modèle physique d'une dimension hors norme représentant un bras d'évacuation du fleuve. Un ingénieur hydraulicien et un agent technique sont dépêchés sur place pour réaliser un second modèle physique avec les équipes locales.

Côté matériaux, l'équipe est sollicitée pour la réalisation de tests de choc, d'abrasion ou de revêtement pour des entreprises de construction et des donneurs d'ordres publics.



Modèle physique pour l'étude hydraulique du TGV sud-est



Cartographie bathymétrique après essai sur modèle à fond mobile



Modèle physique d'une rivière artificielle

« Au début des années 1980, le laboratoire s'est tourné vers la conception et la réalisation de rivières artificielles. C'étaient des projets intéressants techniquement, car ils mettaient à profit l'expertise hydraulique du laboratoire et de ses modèles réduits pour modéliser des zones perturbées, atypiques, difficiles à couvrir par les lois de l'hydraulique traditionnelle. Parmi les aménagements réalisés figure notamment la rivière artificielle de Saint-Pierre-de-Bœuf où des enrochements artificiels manipulables à la main et facilement déplaçables avaient été installés pour modifier le niveau des difficultés. Un beau challenge ! »

Bernard Barthélémy, génie civiliste
chez CNR de 1981 à 2018



Modèle physique du Brahmapoutre

« À mon arrivée au CACOH, j'ai été frappé par l'univers silencieux des halls d'essais : pas de bruit de disqueuses, perceuses, meuleuses, presses ou de tronçonneuses toute la journée. J'ai été saisi par le contraste entre le terme de laboratoire et son activité réelle. Généralement, quand on dit laboratoire, on pense paillasses carrelées avec des éprouvettes et des pipettes. On m'a dit « tu verras, ici on fait des modèles réduits ». Il y avait un côté très sympathique qui me convenait. Aimant toucher à tout, je m'y suis beaucoup plus... et ce tout au long d'une carrière très riche ! »

Denis Carrion, entré comme ouvrier au CACOH en 1976 puis successivement responsable de la construction des modèles, ingénieur d'études et responsable du Frédéric Mistral et de la maintenance des infrastructures du laboratoire

Modèle physique de la confluence entre le Rhône et l'Ain



UNE CONTRIBUTION AUX ENJEUX DE SURVEILLANCE ET DE SÛRETÉ

Les études sur modèles physiques relatives aux derniers aménagements programmés continuent à porter une attention particulière aux enjeux de sûreté hydraulique et se focalisent sur des sections critiques pour l'exploitation : barrages évacuateurs de crue, zones de confluence, protection des berges et des fonds... Les modèles sont également mis en œuvre pour réévaluer la capacité d'ouvrages existants en allant jusqu'à la simulation de crues extrêmes.

La mise en service de 52 ouvrages (19 centrales hydroélectriques, 19 barrages, 14 écluses à grand gabarit) de la Suisse à la Méditerranée a par ailleurs étendu considérablement le périmètre de surveillance. Au-delà de la géographie à embrasser, il s'agit de disposer « d'une connaissance continue, régulière et quasiment immédiate des ouvrages pour assurer la sécurité du trafic fluvial et intervenir rapidement si nécessaire ». Pour CNR, l'enjeu est de taille ! Elle s'équipe d'un bateau hydrographique : le Frédéric Mistral, chargé de surveiller et cartographier l'évolution des fonds du fleuve, mais aussi de contrôler les différents travaux subaquatiques effectués au fond du Rhône.



Bateau hydrographique Frédéric Mistral en opération avec son ancien système de sondage bathymétrique

À PARTIR DE 2002 : DU LABORATOIRE AU CACOH

L'année 2002 voit le rattachement des activités Hydrométrie et Hydrographie de CNR au laboratoire, rebaptisé « laboratoire d'essais, mesures et contrôles ». Cette évolution vise à disposer d'une unité technique en métrologie, et permet de positionner le laboratoire autour de 2 missions structurantes réalisées au bénéfice de l'ingénierie de projets et de l'exploitation.

À partir de 2007, il contribue au projet de recherche national ERINOH dédié à la compréhension des phénomènes d'érosion interne des digues. Son rôle proactif assoit la décision en 2012 de faire porter l'activité de « surveillance des ouvrages » par le laboratoire de Gerland. A cette occasion, il devient le Centre d'Analyse Comportementale des Ouvrages hydrauliques (CACOH), en hommage au grand ingénieur Albert Caquot. Ce changement de nom, puis le rattachement en 2017 à la Direction de la Coordination des Opérations et Sécurité, marquent un nouveau positionnement au sein de CNR. Unité d'expertise historiquement au service de l'ingénierie de projets, le site de Gerland élargit ses missions initiales et s'impose comme un centre d'analyse garant d'enjeux stratégiques pour l'exploitation et la sécurité des ouvrages hydrauliques.

Le CACOH compte 45 personnes, dont une vingtaine d'ingénieurs. Son activité s'articule désormais autour de 6 domaines : Mesure et suivi des flux, Mesure et suivi des fonds, Hydraulique et modèles physiques, Gestion sédimentaire, Matériaux, Surveillance et analyse comportementale des ouvrages de génie civil. Le CACOH est à son firmament.



Etude des processus d'érosion interne des digues sur modèle physique

CHIFFRES CLÉS

45 spécialistes

experts et chefs de projet

6 domaines d'expertise

hydrométrie, hydraulique, gestion sédimentaire, hydrographie, matériaux et surveillance génie civil

12 métiers

au service des projets et de l'exploitation pour garantir la sûreté hydraulique

3 000 m²

la superficie du laboratoire de modélisation

150 m²

la surface du laboratoire d'essais sur les matériaux

1 bateau hydrographique

pour la surveillance des fonds du Rhône

3 bateaux hors-bord

pour la mesure des débits en situation normale et en crue

15 étudiants

étudiants accueillis chaque année en thèse, stage et alternance



Modèle physique d'un barrage CNR

« Le laboratoire était un domaine de passionnés, de techniciens et d'ingénieurs qui faisaient très bien leur boulot. Mais la capacité à se mettre en avant ne faisait pas partie de la culture de l'ingénierie. Au niveau du laboratoire, la CNR a su se renouveler et a maintenu son activité en construisant des maquettes d'un autre type. Elle a également développé commercialement les essais de matériaux très spécialisés, comme les essais d'abrasion. »

Jean-Louis Mathurin, responsable du laboratoire de 1998 à 2003

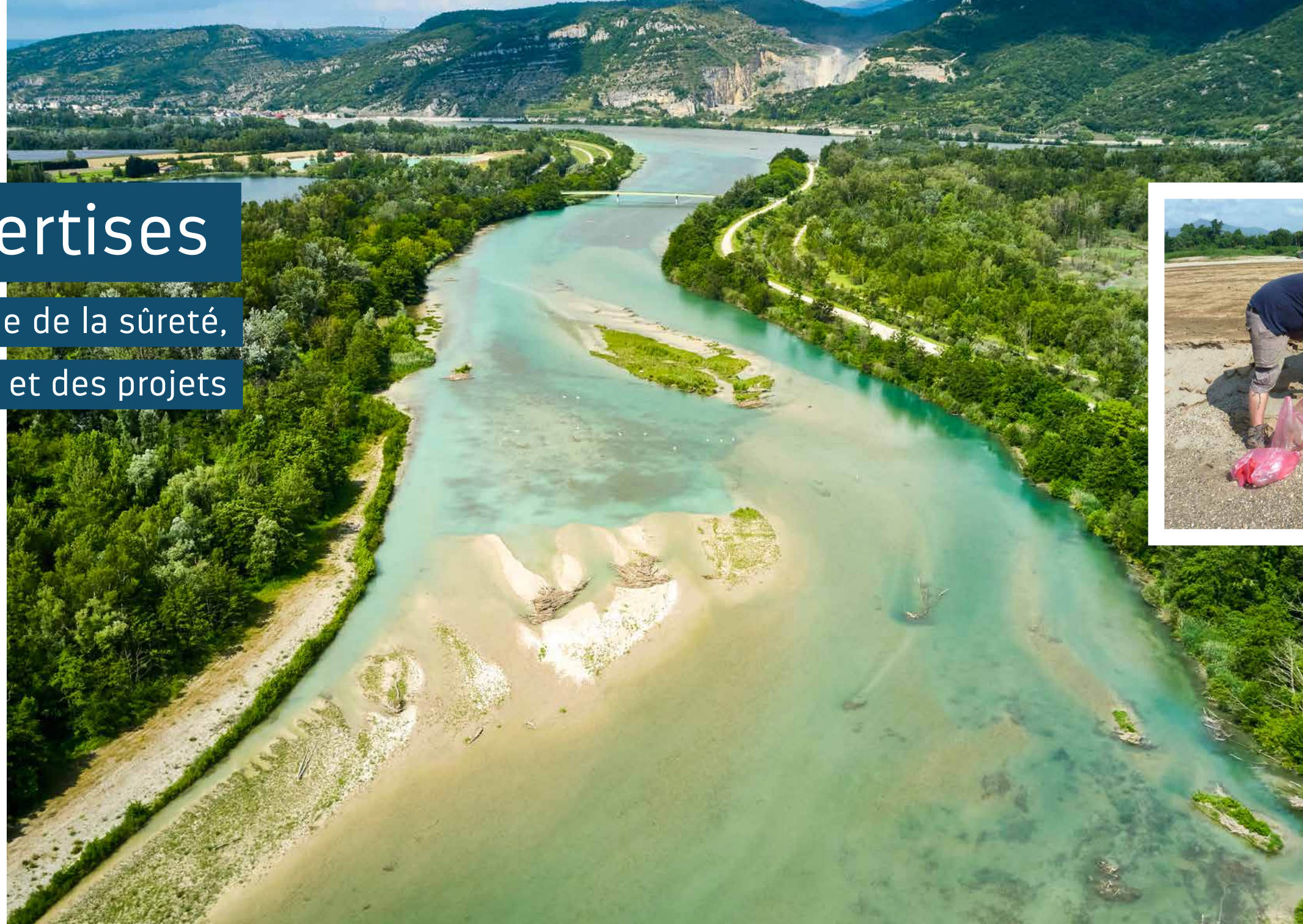
Un concentré d'expertises

au service de la sûreté,
de l'exploitation et des projets

« Ici on prend le pouls du fleuve ». C'est ainsi que l'écrivain Érik Orsenna définit le CACOH lors d'une visite en février 2015. L'académicien résume joliment la mission de ce centre d'analyse et d'ingénierie unique : contribuer à garantir une exploitation sûre, performante et optimisée des aménagements hydrauliques du Rhône. Rattachés à la Direction de la Coordination des Opérations et Sûreté de CNR, ses 45 techniciens et ingénieurs veillent, avec l'aide des équipes locales, sur les installations et la navigation tout au long du fleuve et de ses affluents. Leur champ d'intervention couvre un large spectre de métiers stratégiques, de la métrologie à l'hydraulique en passant par le génie civil et la sédimentologie. Leurs talents s'expriment dans les multiples contrôles, essais, mesures, analyses et modélisations placés au service de la sûreté hydraulique et de la maîtrise du risque technique des aménagements industriels de CNR.



Maquette pour une étude de convoi poussé dans un chenal de navigation

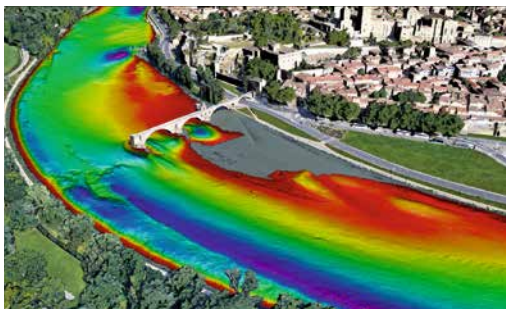


Prélèvement d'échantillons de sédiments sur le Mékong au Laos

Confluence entre la Drôme et le Rhône



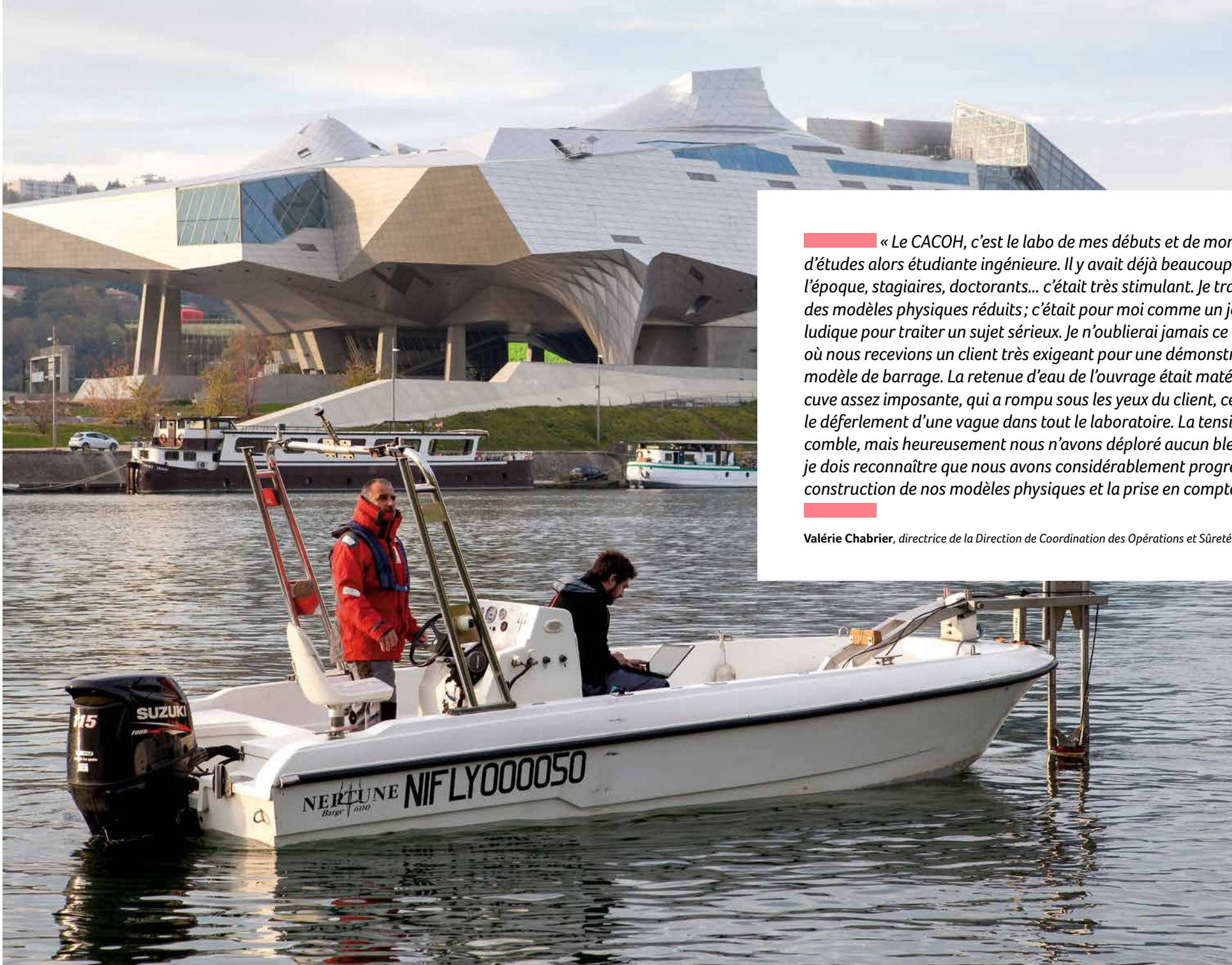
Echelle limnimétrique



Cartographie 3D du fond du Rhône au droit du pont d'Avignon

DES COMPÉTENCES INESTIMABLES EN SURVEILLANCE DES FONDS ET MESURE DES DÉBITS

Compétence historique présente depuis 1938 au sein de CNR, le suivi hydrographique du fleuve est assuré dans l'optique de garantir la sûreté de la navigation sur le Rhône, l'une des trois missions fondatrices de la compagnie. L'équipe hydrographie du CACOH examine et analyse l'évolution du fonds du Rhône due aux apports sédimentaires des affluents et à la dynamique du fleuve. Elle vérifie à intervalles très réguliers le niveau de mouillage requis pour une navigation en sécurité. La collecte, l'analyse et la restitution des mesures bathymétriques sont réalisées par le navire Frédéric Mistral à l'aide de sondeurs multifaisceaux. Des inspections spécifiques sont également menées au plus près des parties immergées des ouvrages pour examiner les parements. Les experts en hydrométrie du CACOH surveillent quant à eux les débits du Rhône et de ses affluents grâce à la supervision des 220 stations positionnées le long du réseau hydrographique. La transmission des données s'effectue en temps réel pour optimiser au mieux le programme de production hydroélectrique et détecter les dysfonctionnements éventuels. En cas d'incohérence constatée sur un site de relevés, des techniciens partent aussitôt sur le terrain pour réaliser des jaugages avec un courantmètre évaluant les vitesses et les profondeurs du cours d'eau en amont et en aval d'un ouvrage. L'enjeu est de garantir la fourniture d'observations fiables, précises et cohérentes pour contribuer à l'exploitation des centrales hydroélectriques et des barrages en toute sûreté. L'analyse des informations collectées est transmise au Centre de gestion de la production intermittente de CNR afin d'optimiser quotidiennement les programmes de production d'énergie.



« Le CACOH, c'est le labo de mes débuts et de mon Projet de fin d'études alors étudiante ingénieure. Il y avait déjà beaucoup de jeunes à l'époque, stagiaires, doctorants... c'était très stimulant. Je travaillais sur des modèles physiques réduits ; c'était pour moi comme un jeu concret et ludique pour traiter un sujet sérieux. Je n'oublierai jamais ce vendredi noir où nous recevions un client très exigeant pour une démonstration sur un modèle de barrage. La retenue d'eau de l'ouvrage était matérialisée par une cuve assez imposante, qui a rompu sous les yeux du client, ce qui a entraîné le déferlement d'une vague dans tout le laboratoire. La tension était à son comble, mais heureusement nous n'avons déploré aucun blessé. Depuis, je dois reconnaître que nous avons considérablement progressé sur la construction de nos modèles physiques et la prise en compte de la sécurité. »

Valérie Chabrier, directrice de la Direction de Coordination des Opérations et Sûreté (DCOS) depuis 2017

Mesure de débit à l'ADCP



Et vogue le Frédéric Mistral...

Propriété de CNR, le bateau hydrographique Frédéric Mistral vogue depuis 1981 sur le Rhône. À son bord, l'équipage est chargé de scruter le fleuve afin de régulièrement mettre à jour la cartographie des fonds du cours d'eau ainsi que de contrôler les différents travaux subaquatiques effectués au fond du fleuve (dragages en particulier). Le Frédéric Mistral permet aussi de vérifier l'état des berges, des installations hydroélectriques, des écluses et des piles de ponts. Il réalise également des opérations de carottage pour collecter des échantillons, qui sont ensuite testés par l'équipe du laboratoire matériaux du CACOH afin de mieux comprendre le comportement des sédiments déposés dans les retenues et d'évaluer la nécessité d'engager ou non des opérations de dragage. De grandes dimensions (200 tonnes, 33,20 m de long, 8,80 m de large), le Frédéric Mistral est équipé de 2 sondeurs multifaisceaux, d'un système de géopositionnement, ainsi que d'un sonar à imagerie haute résolution.

Le pilote et les techniciens contribuent parfois à des recherches archéologiques en apportant un appui logistique précieux dans le cadre de projets scientifiques. Comme celles qui ont permis de retrouver, en 2004, l'épave d'une barge gallo-romaine de 30 mètres de long et, en 2008, le buste présumé de Jules César. Ces deux joyaux sont exposés aujourd'hui au Musée départemental Arles antique.



Opération de carottage à partir du Frédéric Mistral



Epave du chaland gallo-romain d'Arles

Bateau hydrographique
Frédéric Mistral

Les mesures hydrométriques et hydrographiques constituent aujourd’hui une donnée d’entrée essentielle de la gestion dynamique sédimentaire du Rhône et des retenues, dont l’objectif est de garantir la navigation et le passage des crues sans aggraver les conséquences naturelles des phénomènes pour les personnes et les biens riverains du fleuve. Outre les mesures réalisées sur les dépôts de sédiments, les données collectées sont étendues aux flux de particules transportés par les écoulements. Elles permettent d’établir des diagnostics, d’élaborer des stratégies de gestion conciliant les différents enjeux et de définir les actions requises dans des zones de dépôts problématiques.



Mesure des flux de sable en suspension du Mékong au Laos



Travaux d’entretien
et de restauration
écologique à Pont
Saint Esprit



Vanne de fond du barrage de Génissiat

« Lorsque je suis arrivée au CACOH en 1995, ce qui m’a marquée, c’est l’odeur d’essence qui régnait régulièrement dans l’air du laboratoire. A l’époque, nous alimentions les modèles réduits physiques avec de l’eau de nappe qui avait été polluée aux hydrocarbures durant la 2^e guerre mondiale. Je me souviens avoir travaillé sur des sujets très différents : de la mesure de coefficient de rugosité dans des conduites béton au dimensionnement d’une passe à poissons au seuil de Beaucaire. Je me revois encore verser mes petits gobelets de graviers un à un sur le modèle pour simuler la réalisation d’un batardeau en enrochements en phase chantier. Une première expérience rêvée pour la jeune ingénieure hydraulicienne que j’étais... »

Françoise Abadie, directrice adjointe de la Direction territoriale Haut Rhône de CNR

UN ACTEUR ESSENTIEL CONTRIBUANT À GARANTIR LA SÛRETÉ DES OUVRAGES CNR

Autre mission du CACOH : la surveillance du comportement des ouvrages. Les experts combinent pour cela constats visuels et données d'auscultation. Ces diagnostics permettent de détecter les évolutions éventuelles des ouvrages, de statuer sur leur état réel et d'interpréter au plus tôt les signaux précurseurs d'instabilités ou de dysfonctionnements. Combinée au programme de maintenance de CNR, l'expertise du CACOH et des équipes locales contribue à garantir la sûreté hydraulique des installations sur le Rhône.

Une sûreté renforcée par les spécialistes du laboratoire d'essai des matériaux, dont la mission est d'évaluer la qualité et le vieillissement des matériaux de structure. À partir d'essais réalisés au laboratoire ou *in situ*, ceux-ci établissent leurs diagnostics selon les normes internationales en vigueur. Ils contrôlent également les caractéristiques et la bonne mise en œuvre des matériaux utilisés pour la construction d'ouvrages neufs, évitant ainsi des réinterventions extrêmement coûteuses a posteriori. Certains d'entre eux ont été développés spécifiquement par le CACOH et sont devenus des références pour de nombreux maîtres d'ouvrage.

Le CACOH réalise également des mesures sur site pour évaluer la performance des ouvrages CNR : groupes hydrauliques, écluses, vannes... Ces analyses s'appuient sur des techniques de mesure avancées et permettent de rechercher une utilisation optimale des ouvrages dans le respect des critères initiaux de conception.



« Par ma fonction d'appui à l'autorité de contrôle des ouvrages, j'étudie les rapports effectués par les experts du CACOH pour le compte de clients. Les études de danger, les rapports d'auscultation ou les diagnostics de zones d'incidents sont toujours de qualité avec une maîtrise des différentes composantes de la sécurité des ouvrages hydrauliques. D'ailleurs, nous venons de renouveler, pour les huit prochaines années, ses agréments dédiés aux auscultations, études, diagnostics et suivi des travaux sur les barrages et les digues. Au-delà de l'aspect réglementaire, le CACOH est ouvert au partage d'expériences et aux visites dans le cadre de nos formations, ce qui est souvent un réel atout pour nos agents. »

Florent Bacchus, chargé d'appui technique au Pôle national de la sécurité des ouvrages hydrauliques au sein de la Direction générale de la prévention des risques



Essai d'abrasion



Inspection d'un sas d'écluse



LE SAVIEZ-VOUS ?

50 ouvrages

en béton contrôlés

400 km

de barrages
en remblais surveillés

330 km

de voie navigable
à grand gabarit surveillés

220 stations

pour superviser et optimiser
les écoulements en temps
réel (fleuve et affluents)

1 bateau hydrographique

pour la surveillance
et la caractérisation des fonds
du Rhône

« Le CACOH, c'est en quelque sorte la mémoire des ouvrages et de leurs comportements. Nos missions sont passionnantes, car en contact direct avec nos collègues du terrain ; ils donnent du sens à nos analyses et nous donnons du sens à leurs mesures. Un souvenir impérissable pour moi est celui lié au séisme du Teil, en Ardèche, survenu le 11 novembre 2019 à proximité d'ouvrages CNR. En 10 jours, nous avons réalisé les mesures et la surveillance visuelle de 25 ouvrages béton et de 300 kilomètres de digues. Près de 90 personnes de tous les services se sont mobilisées. Beaucoup de marche à pied, de coordination et de compte-rendu, mais au final, la découverte de seulement 2 anomalies mineures. Un soulagement pour nous ! »

Mathieu Barilone, responsable du pôle Ouvrages
au CACOH depuis 2017

Endiguement le
long d'un canal
d'amenée



Mesure sur pendule



Expertise d'un système d'auscultation



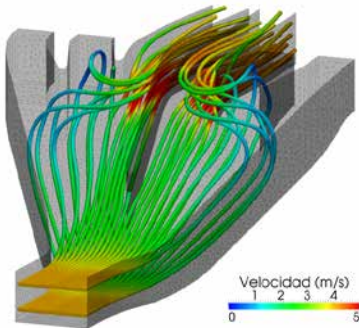
Mesure d'indice de continuité

UN EXPERT EN MODÉLISATION PHYSIQUE ET HYBRIDE

Autre composante du CACOH aujourd’hui, le laboratoire d’hydraulique appliquée et de modélisation physique. Sa mission ? Concevoir, optimiser et valider des solutions techniques répondant à des problématiques hydrauliques complexes. Dans un vaste hall équipé de plateformes d’essais modernes, il produit des modèles physiques hydrauliques qui représentent, à partir d’immenses maquettes bardées de capteurs, les conditions naturelles d’écoulement et de transport solide. Réalisées à petites et grandes échelles, ces maquettes servent à l’étude d’un aménagement de tronçon de rivière ou à la conception d’un ouvrage hydraulique. Lorsque les besoins des projets le nécessitent, cet outil d’analyse et de communication pédagogique permet de prendre en compte, avec une incomparable précision, les évolutions morphologiques dues aux sédiments transportés dans les rivières, les torrents et les réservoirs. Les experts du CACOH maîtrisent également les approches de modélisation hybride qui combinent les atouts respectifs des modèles physiques et numériques. Cette expérience rare dans le design hydraulique et l’analyse hydrodynamique des ouvrages de génie civil (barrages, évacuateurs, centrales hydroélectriques, écluses, stations de pompage...) est également placée au service de clients externes.

« Nous travaillons avec les équipes du CACOH depuis plusieurs années, notamment pour la réalisation de jumeaux numériques de leurs modèles physiques. Nous avons été les premiers à collaborer sur les design initiaux du projet de modélisation du canal de Panama. C’était un projet exaltant en raison de ses dimensions purement extraordinaires. Avec CNR, la collaboration est vraiment enrichissante ; nous pratiquons une ingénierie « bon enfant » de passionnés. Les équipes sont très ouvertes à la discussion dans un souci de progrès permanent et avec une posture d’égal à égal. Nous évoluons, ensemble, dans un monde passionnant de quête de certitudes scientifiques et techniques. »

Nicolas Boisson, gérant d’OptiFluides



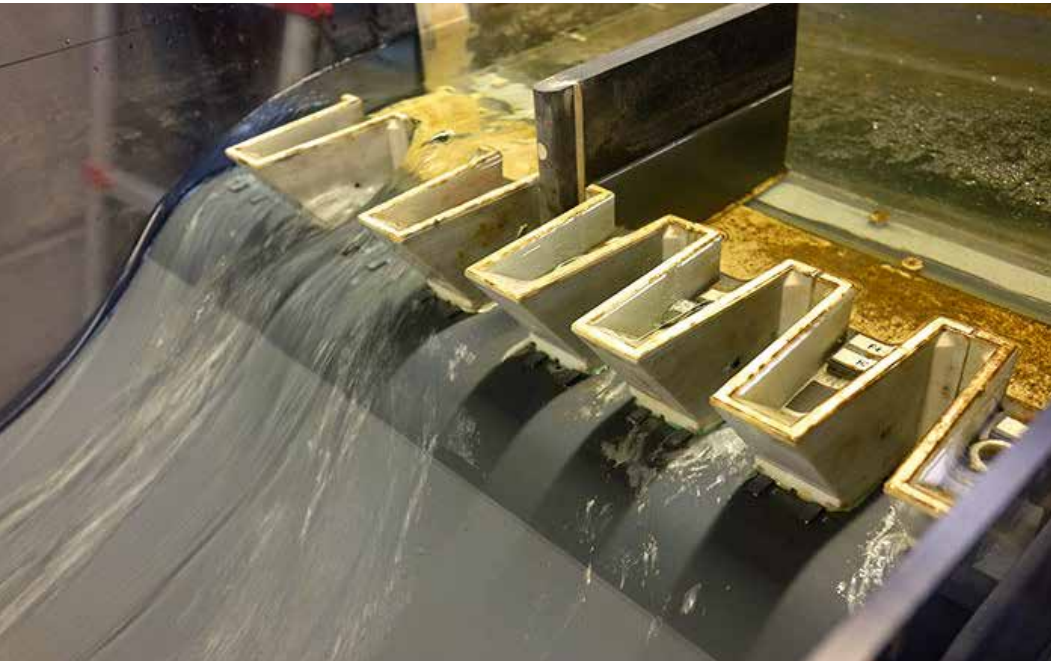
Piège à flottants de l’Arvan après réalisation



Modèle physique du piège à flottants de l’Arvan



Modèle physique de l’écluse de Chautagne



Évacuateur de crues du barrage de Boukhroufa (Algérie)



Un savoir-faire qui irrigue aux quatre coins du monde

L'expertise en ingénierie hydroélectrique et fluviale du CACOH dépasse aujourd'hui le simple périmètre du fleuve et de ses aménagements. Son savoir-faire irrigue des projets portés par des clients externes. Fort de leur double casquette de concepteur et d'exploitant éprouvée sur le Rhône, les ingénieurs et techniciens du CACOH imaginent et conçoivent des solutions répondant aux besoins opérationnels spécifiques de maîtres d'ouvrage désireux d'exploiter des aménagements avec un très haut niveau de performance. Le Service public de l'assainissement francilien (SIAAP) a par exemple sollicité le CACOH, en 2015, dans le cadre de la modernisation de la station de prétraitement des eaux de Paris, situé à Clichy-la-Garenne. Au sein du laboratoire hydraulique de Gerland, une maquette de l'installation a été construite au 1/10^e sur une surface au sol de 900 m², avec 2 000 pièces d'assemblage, 4 kilomètres de câblage pour 75 capteurs et 14 points de contrôle, ainsi qu'un système vidéo pointu doté de 4 caméras pour observer le modèle en permanence adossé à un algorithme intuitif pour programmer les régulateurs, les vannes et les siphons. Les tests ont permis de vérifier les débits et le fonctionnement de l'ensemble des organes hydrauliques, y compris les grilles stoppant les déchets flottants, avant d'engager les travaux.



Modèle
physique de la
station de Clichy

Expertise sur la Rivière des Galets à la Réunion

Autre projet d'envergure : le Plan Loire grandeur nature. À la demande de Voies Navigables de France, les équipes du CACOH ont étudié, en 2018, une portion de la Loire pour alimenter différents scénarios d'aménagement. Une action qui a combiné modèle numérique et maquette à l'échelle du 1/100^e afin de comprendre et anticiper les mouvements du sable transporté par les écoulements. Et ainsi stopper l'affaissement en cours de la Loire en amont de Nantes ! À La Réunion, le CACOH intervient à la demande des collectivités et de l'État pour la conception, la surveillance et l'entretien d'aménagements subissant l'assaut d'écoulements violents provoqués par des crues cycloniques. Il réalise des expertises et des modélisations permettant de prévoir les évolutions morphologiques à plus ou moins long terme et établit des référentiels spécifiques pour le suivi topographique de ces rivières torrentielles.



« Dans le cadre du projet de rééquilibrage du lit de la Loire sur plus de 80 kilomètres, entre Angers et Nantes, nous avons confié au CACOH l'étude sur l'aménagement de Bellevue. La reproduction à l'échelle du 1/100^e des deux bras du fleuve et du pont de Bellevue près de Nantes, soit une maquette de 35 mètres de long, était impressionnante. Grâce à elle, les ingénieurs ont pu vérifier les données acquises au préalable par modélisation numérique. Pour ce faire, ils ont dû trouver un moyen de reproduire la densité et le comportement du sable à l'échelle de la maquette. Les tests ont été effectués avec des grains de plastique issus de CD recyclés. Outre l'aspect technique bénéfique à l'avancement de notre projet, nous avons apprécié de travailler avec les ingénieurs du CACOH, pour leur professionnalisme, leur disponibilité et leur écoute. »

Séverine Gagnol, cheffe de l'unité territoriale Loire à Voies navigables de France (VNF)



Plage de dépôt du torrent du Manival

En cette année de son 85^e anniversaire, le laboratoire a aussi été retenu pour réaliser une étude sur modèle physique de la plage de dépôt du torrent du Manival, affluent situé en rive droite de l'Isère en amont de Grenoble. Le projet vise à mieux comprendre le fonctionnement et les réaménagements possibles de cet ouvrage. Une des particularités - qui constitue aussi un véritable challenge technique - est de simuler aussi fidèlement que possible la dynamique des coulées de lave torrentielles, phénomènes sédimentaires les plus destructeurs auxquels les populations riveraines sont exposées.

Modèle physique de la Loire

CANAL DE PANAMA : LE PROJET DE LA DÉMESURE

La réussite de tous ces projets trouve un écho positif à l'étranger. Les équipes d'ingénierie parcourent le globe, là où les besoins sont prégnants et là où elles peuvent déployer une valeur ajoutée fondée sur leur expérience d'exploitant du Rhône. Les destinations sont lointaines, souvent exotiques et fréquemment liées à des défis techniques. Emblématique, l'aventure du canal de Panama, qui a propulsé le CACOH sous les feux de la rampe pour ses études de conception générale de trois nouvelles écluses. Agrémentées chacune de trois bassins d'épargne, ces écluses doivent permettre le passage des bateaux dans les temps imposés par les Panaméens tout en économisant 87 % de l'eau théoriquement nécessaire au transit d'un navire. Des ouvrages exceptionnels par leur taille et leur importance, dont la modélisation au sein du CACOH restera dans les annales ! Représentant deux écluses et leurs bassins d'épargne, cette maquette de 65 mètres de longueur équipée d'une centaine de capteurs a permis, entre décembre 2009 et février 2011, de réaliser quelque 1 500 essais afin de tester et d'optimiser le système d'alimentation des nouvelles installations et de faire valider les différents choix techniques. Au total 25 personnes ont été mobilisées pendant six mois pour la construction, suivis d'un an d'essais.

Toujours en Amérique du Sud, le CACOH a mené des actions en matière d'ingénierie pour permettre la navigation sur le fleuve Paraná, entravée par le gigantesque barrage d'Itaipu à la frontière du Brésil et du Paraguay. Autre latitude, autre continent : l'Asie, où les besoins sont importants. Sur le Mékong, les ingénieurs du CACOH apportent leur expertise sur la chaîne d'aménagements hydroélectriques en projet sur le fleuve dans la traversée du Laos.



Barrage de Xayaburi en construction



Mission de terrain sur le Mékong au Laos



Modèle physique du barrage d'Itaipu

« Quelques mois après mon embauche au CACOH, mon premier emploi, j'ai été propulsé sur le gigantesque projet d'extension du canal de Panama. C'était un challenge incroyable pour le jeune ingénieur que j'étais et j'ai notamment eu la chance de pouvoir suivre toutes les étapes du projet, de sa conception en 2002 à son inauguration en 2016. Le travail de construction, de mesure et d'analyses mené sur le plus gros modèle qui n'avait jamais été réalisé au laboratoire a constitué une expérience très formatrice, obligeant chacun à sortir de sa zone de confort. Moi, le premier ! J'ai dû m'affirmer face aux équipes et à mes interlocuteurs, pour la plupart étrangers. Ces rencontres m'ont marqué et, pour la plupart, ont forgé de belles amitiés. Le Panama restera sans doute un projet unique dans ma carrière. J'ai mis ensuite à profit l'expérience acquise sur d'autres projets pour le compte de CNR, pour des clients en France et à l'export, notamment au Laos, au Paraguay et à La Réunion. »

Sébastien Roux, référent modèle physique au CACOH

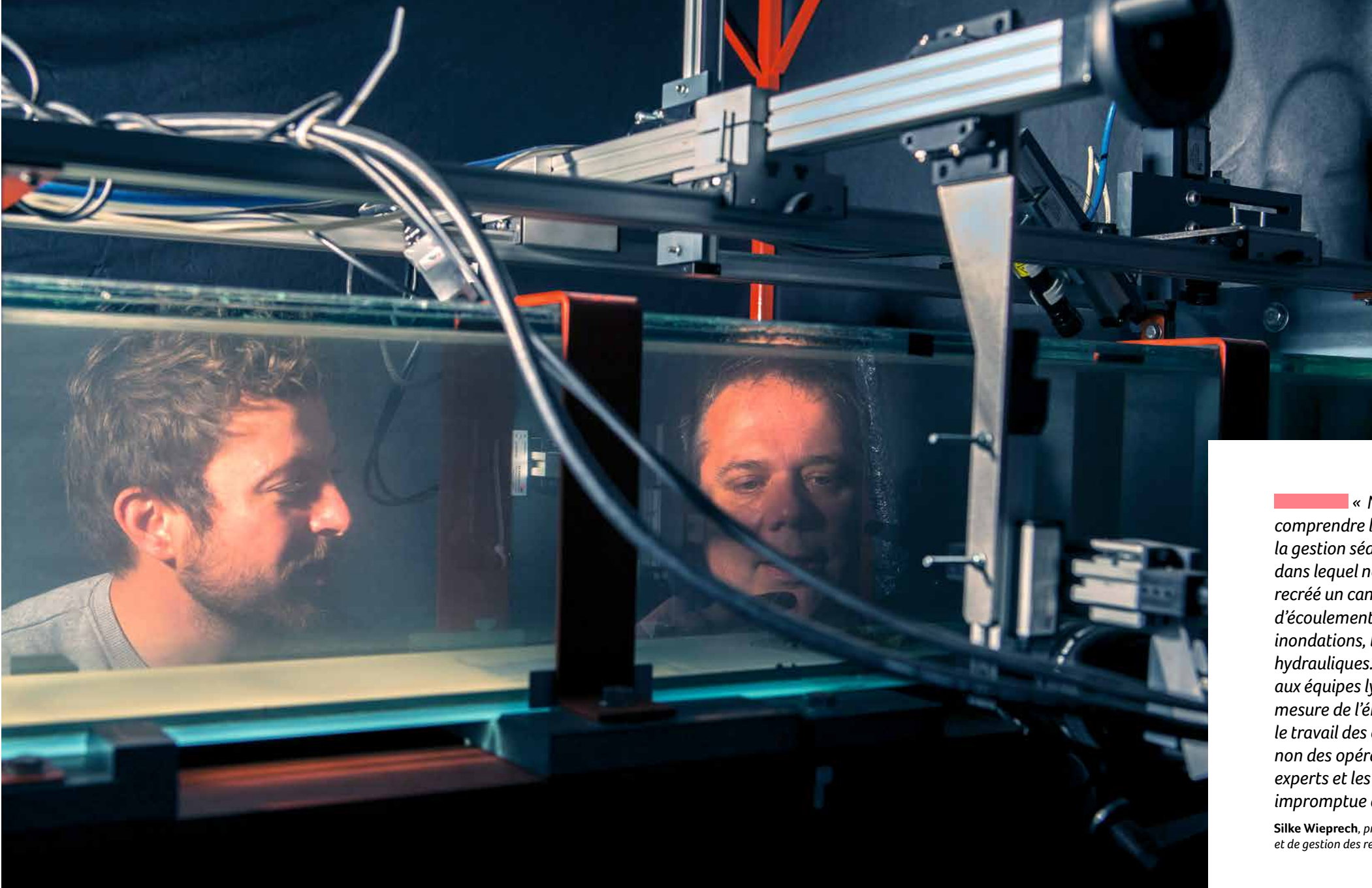
UNE DÉMARCHE D'INNOVATION PERMANENTE

Afin de maintenir une expertise de haut niveau et d'optimiser la performance de l'outil industriel de CNR, notamment vis-à-vis des enjeux liés à la sûreté et à la transition énergétique, les équipes du CACOH s'inscrivent dans une démarche d'innovation permanente. La créativité des équipes opérationnelles s'illustre au travers de collaborations avec des pôles de compétitivité, laboratoires de recherche, universités et start-ups. Par exemple, avec l'Université de Stuttgart (Allemagne), un banc d'essai pour la mesure de l'érodabilité des dépôts sédimentaires dans un canal hydraulique est en cours de développement. Cet outil permettra d'évaluer la nécessité d'engager ou non des opérations de dragage. Une étude scientifique à grande échelle sur la pollution plastique dans le fleuve Rhône est également conduite avec la start-up Plastic@Sea, dans le prolongement du partenariat initié en 2019 avec la Fondation Tara Océan.

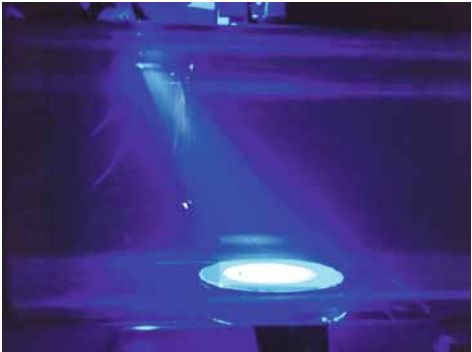
Autant de projets qui donneront leur pleine mesure dans les années à venir. Le CACOH est prêt à relever les enjeux du plan CNR 2030, notamment son ambition numéro une : développer le Rhône et ses multiples usages de manière responsable.



Etude scientifique «Plastic Rhône»



Banc d'essai pour la mesure de l'érodabilité des dépôts sédimentaires



Essai d'érodabilité en cours

« Nous coopérons avec le CACOH depuis 2019 afin de mieux comprendre le comportement des sédiments et d'augmenter l'efficacité de la gestion sédimentaire dans les retenues CNR. Au sein de notre laboratoire, dans lequel nous construisons des modèles réduits physiques, nous avons recréé un canal d'érosion pour observer et analyser les processus naturels d'écoulement et de transport de sédiments dans le but d'en savoir plus sur les inondations, la sédimentation des réservoirs, le comportement des ouvrages hydrauliques... Ce modèle est aujourd'hui en place au CACOH et permet aux équipes lyonnaises de développer actuellement un banc d'essai pour la mesure de l'érodabilité des dépôts sédimentaires. À terme, l'outil facilitera le travail des exploitants qui évalueront grâce à lui la nécessité d'engager ou non des opérations de dragage. C'est un réel plaisir de collaborer avec les experts et les ingénieurs du CACOH, un partenariat né lors d'une rencontre impromptue durant une manifestation internationale. »

Silke Wieprech, professeur à l'Université de Stuttgart et responsable de la Chaire de génie hydraulique et de gestion des ressources en eau à l'Institut de modélisation des systèmes d'eau et d'environnement

Modèle physique de l'usine hydroélectrique de Châteauneuf du Rhône



« Le CACOH, c'est mon plus beau poste... Une énergie incroyable, de l'effervescence intellectuelle, des savoir-faire pointus et 1 000 idées à la minute ! Un cheval fougueux dont il fallait gérer la créativité. Le CACOH est une fabuleuse vitrine technologique pour CNR ; lorsque nous montrons les maquettes aux clients, leurs yeux pétillent... comme ceux des enfants devant un jeu de construction. Des anecdotes, les pros des équations du CACOH m'en ont fait vivre des centaines, autant que de modèles fantastiques réalisés. Mon coup de cœur ? Associer les biosciences à nos domaines d'expertises habituels, et ainsi être précurseurs d'une nouvelle méthode de renforcement des digues grâce à l'apport de bactéries. »

Laurence Duchesne, directrice adjointe Ingénierie et Grands projets depuis 2019, responsable du CACOH de 2015 à 2018

/ Le saviez-vous ?/

Le CACOH accueille, chaque année, une quinzaine d'alternants, d'étudiants et de doctorants dans le cadre de stages en entreprise et de projets de recherche appliquée. Ingénieurs et techniciens accompagnent cette jeune génération, lui permettant d'acquérir et de développer de précieux savoirs.

PARTAGE DE SAVOIRS ET D'EXPERIENCES

Au sein de CNR, le CACOH a une mission de transmissions de connaissances et de capitalisation de savoirs sur le comportement hydraulique et structural des ouvrages hydrauliques du fleuve Rhône. Le CACOH partage également son expérience au sein de différents groupes nationaux et internationaux en pointe dans le domaine de la mesure, du contrôle, de la modélisation des écoulements et des structures hydrauliques : le Comité français des barrages et réservoirs (CFBR), la commission internationale des grands barrages (ICOLD), l'association internationale pour la recherche hydraulique (IAHR), le groupe de travail européen sur l'érosion interne (EWGIE), l'association mondiale pour les infrastructures de transport par voie d'eau (PIANC), l'Association francophone d'hydrographie (AFHy), l'Association française de normalisation (AFNOR) et la Société hydrotechnique de France (SHF).



Visite d'un groupe d'étudiants



/ LE CACOH 85 ans /

DE PASSION ET D'INNOVATION
pour un aménagement sûr
et durable des fleuves

Janvier 2022
Recherche et synthèse historique // Fanny Desseauve, Claire Moyrand,
Philippe Lagrevol (Histoire d'Entreprises)
Rédaction // NF2
Conception graphique et réalisation // Graphistar
Photos // Jean-Paul Bajard, Noël Bouchut, Camille Moirenc,
Jérôme Surroca, Territoire de la Côte Ouest de la Réunion, photothèque CNR

REMERCIEMENTS

La Direction de la Communication et Christophe Peteuil, responsable du CACOH, tiennent à remercier chaleureusement les personnes suivantes pour leur contribution à cet ouvrage. Tout d'abord, les salariés, retraités ou encore en poste chez CNR, qui ont permis de faire revivre son histoire et son actualité : Françoise Abadie, Mathieu Barilone, Bernard Barthélémy, Christelle Brocard Lubac, Denis Carrion, Valérie Chabrier, Eric Divet, Francis Fruchart, Céline Khantache, Jacques Perrier, Gilles Pierrefeu, Sylvain Reynaud, Sébastien Roux, Robert Tavano, Georges Varet et les responsables qui ont dirigé le CACOH, Laurence Duchesne, Jean-Louis Mathurin et Mattia Scotti. Un grand merci aussi à Florent Bacchus (PoNSOH), Nicolas Boisson (OptiFluides), Séverine Gagnol (VNF) et Silke Wieprecht (Université de Stuttgart) pour leurs précieux témoignages. Comme toute œuvre collective, ce livre n'aurait pu voir le jour sans l'engagement de chacun.

Lieu emblématique de l'histoire technique de CNR, le Centre d'Analyse Comportementale des Ouvrages Hydrauliques (CACOH) a considérablement enrichi ses missions et ses expertises depuis la création du « laboratoire d'hydraulique de Gerland » il y a 85 ans.

Doté de compétences pluridisciplinaires uniques et essentielles, il contribue à la transmission de connaissances et apporte à CNR un savoir-faire de haut niveau dans la conception, l'exploitation et la surveillance des aménagements hydroélectriques et fluviaux du fleuve Rhône.

Le CACOH participe aussi au rayonnement international de CNR en coopérant à des projets prestigieux avec sa Direction de l'Ingénierie et des Grands Projets. Enfin, ses équipes contribuent à développer la performance opérationnelle de l'entreprise et mènent des actions de Recherche et Développement innovantes au service de la sûreté hydraulique et de la transition écologique.

CACOH
4, rue de Chalon-sur-Saône
69007 Lyon - France
Tél. : +33 (0)4 78 61 60 00

cnr.tm.fr

