

2018

BILAN scientifique

BRETAGNE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE TECHNIQUES AVANCÉES BRETAGNE



ENSTA
Bretagne

" La recherche



Les activités de recherche menées à l'ENSTA Bretagne répondent à des questions et enjeux applicatifs civils et militaires, posés par des entreprises industrielles ou par la DGA, en s'appuyant sur des approches et démarches scientifiques du meilleur niveau.

En cohérence avec les domaines de formation de l'école, la recherche concerne principalement les technologies de l'information, les sciences mécaniques, les sciences humaines et sociales.

Les programmes de recherche concourent au développement de formations d'ingénieurs à la pointe de l'innovation technologique, participent à la notoriété de l'établissement auprès des partenaires industriels et académiques nationaux et internationaux, et stimulent sur le campus l'esprit d'entrepreneuriat et de développement de projets.

La recherche menée à l'école, fortement tournée vers les applications industrielles, s'appuie sur un très fort niveau de financement issu de ressources privées et publiques.

La recherche est conduite dans le cadre de trois laboratoires, dont 2 Unités Mixtes de Recherche CNRS, décrits page suivante. Ces laboratoires rassemblent ainsi des enseignants-chercheurs de plusieurs établissements d'enseignement supérieur et de recherche qui, à l'instar de l'ENSTA Bretagne, exercent les tutelles.

CONTACT Yann Doutreleau, Directeur scientifique
 Yann.doutreleau@ensta-bretagne.fr
 Tél. : +33 (0)2 98 34 87 38

Contrats notifiés
 en 2018
5,5 M€

Effectif recherche
228
 personnels et
 doctorants

21
 thèses soutenues
29 thèses
 débutées

110
 doctorants

FAITS MARQUANTS 2018

L'année a été marquée par des événements particulièrement importants pour le développement des laboratoires et de la recherche à l'ENSTA Bretagne.

- > Créé en 2016, l'**Institut de Recherche Dupuy de Lôme** est devenu, par décision du président du CNRS, une unité mixte de recherche (UMR 6027). C'est une reconnaissance forte de la qualité des travaux menés par les enseignants-chercheurs de l'IRDL dans le domaine des sciences mécaniques appliquées en particulier à des problématiques de l'ingénierie marine. La réelle dynamique collaborative entre les tutelles a ainsi été mise à l'honneur. L'IRDL est aussi devenu en 2018 le premier laboratoire de Bretagne, toutes disciplines confondues, en nombre de thèses CIFRE (contrats de thèse portés par les entreprises). L'ENSTA Bretagne a apporté une pierre significative à ce beau résultat. C'est un autre révélateur de la proximité forte de notre recherche avec le tissu socio-économique.
- > L'activité du **Lab-STICC** se caractérise par un accroissement significatif du montant des contrats de recherche industriels, pour des applications civiles ou en lien avec des thématiques de défense : utilisation du machine learning pour interpréter des images sonar de synthèse, navigation précise des drones sous-marins, développement d'AUV à bas coût... De nombreuses thèses de doctorat ont été soutenues cette année.
- > En Sciences Humaines et Sociales, un changement majeur a été opéré cette année avec la construction du nouveau laboratoire «**Formation et Apprentissages Professionnels**», qui dans la continuité du Centre de recherche sur la Formation, permet d'accueillir un nouvel établissement. Le laboratoire, totalement repensé dans sa structuration en trois équipes, mixte de manière équilibrée les apports scientifiques du Cnam Paris, d'Agrosup Dijon et de l'ENSTA Bretagne, et est porteur de belles perspectives dans le domaine de la recherche en formation humaine. Les chercheurs de l'ENSTA Bretagne sont porteurs de deux projets de recherche internationaux : RIIME (recherche sur les ingénieurs et la formation à l'innovation au Maghreb) dans le cadre d'un partenariat Hubert Curien (Campus France), le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères et le MESRI ; A-STEP2030 (Attracting diverse Talent to the engineering progressions of 2030) dans le cadre d'un programme ERASMUS+.

3 laboratoires académiques



INGÉNIERIE DES MATÉRIAUX ET DES SYSTÈMES MÉCANIQUES



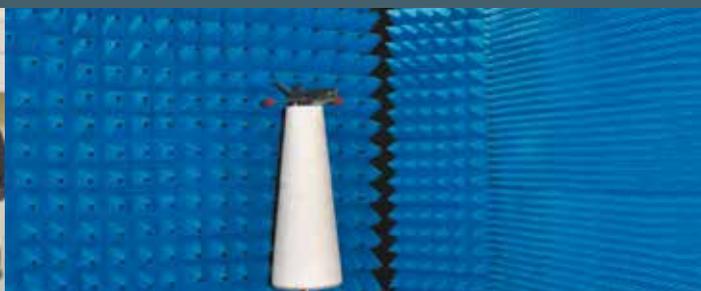
UMR CNRS 6027
www.irdl.fr

INSTITUT DE RECHERCHE DUPUY DE LÔME

4 établissements tutelles : l'Université de Bretagne Sud (UBS), l'ENSTA Bretagne, l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), le CNRS ; et 1 établissement partenaire : l'École Nationale d'Ingénieurs de Brest.

- > Créé le 1er janvier 2016 avec la reconnaissance du CNRS, le laboratoire IRDL est né de la fusion des laboratoires de Brest et Lorient, le LBMS et le LimatB. ENSTA Bretagne est le 2e contributeur de l'IRDL.
- > L'IRDL vise à prédire le comportement et améliorer les performances des systèmes mécaniques et des matériaux.
- > Les secteurs industriels intéressés sont liés à l'automobile, l'énergie, l'aéronautique, la santé, aux transports et plus particulièrement à tous les domaines en interaction dynamique avec le milieu marin, telles que la construction navale et offshore ou les énergies marines.

+ d'infos > page 24



DU CAPTEUR À LA CONNAISSANCE



UMR CNRS 6285
www.lab-sticc.fr

LABORATOIRE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'INFORMATION, DE LA COMMUNICATION ET DE LA CONNAISSANCE

6 établissements tutelles : IMT Atlantique, ENSTA Bretagne, ENIB, les universités UBO et UBS, ainsi que le CNRS.

- > Créé en 2008, afin de fédérer les forces de recherche multidisciplinaires des écoles, des universités et du CNRS, le Lab-Sticc a été rejoint en 2012 par l'ENSTA Bretagne et l'ENIB.
- > ENSTA Bretagne est le 3^e contributeur du Lab-STICC.
- > Le Lab-STICC regroupe des compétences de très haut niveau en communications numériques, traitement du signal, micro-ondes, optoélectronique, matériaux, systèmes embarqués, électronique, informatique, et sciences de la connaissance.

+ d'infos > page 30



SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES POUR L'INGÉNIEUR

À COMPTER DU 1^{ER} JANVIER 2019
LE CENTRE DE RECHERCHE SUR LA FORMATION (EA 1410) DEVIENT

EA 7529
fap.cnam.fr

L'UNITÉ DE RECHERCHE FORMATION ET APPRENTISSAGES PROFESSIONNELS

3 établissements tutelles : CNAM Paris, AgroSup Dijon et ENSTA Bretagne.

- > Dans la continuité du CRF (Centre de Recherche sur la Formation), le nouveau laboratoire « Formation et Apprentissages Professionnels » (FAP) vise à produire des savoirs sur la conception des dispositifs de formation, sur la transmission et la circulation des savoirs, sur l'innovation en formation, sur les dynamiques identitaires, sur le rapport entre apprentissages professionnels et activité au travail et en formation.
- > ENSTA Bretagne anime et coordonne une des 3 thématiques de recherche, intitulée « Curriculum et dynamiques identitaires ».

+ d'infos > page 38

CHAIRES & LABOS COMMUNS AVEC L'INDUSTRIE

SCIENCES MÉCANIQUES

- > Labo commun «CENSTA BZH», avec **CENTIGON** > page 27
- > Labo commun «GUSTAVE ZEDE», avec **NAVAL GROUP** > page 29
- > Entrée dans l'OpenLab «Computational Mechanics» du **groupe PSA**, avec Mines Paris, l'École polytechnique et l'ENSTA ParisTech

TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

- > Labos communs «WAVES» et «LATERAL» avec **THALES** > page 30
- > **Entrée** dans la **chaire «Cybersécurité des systèmes navals»**, avec l'École navale, IMT Atlantique, Naval Group et Thales

" Laboratoire IRDL

Institut de Recherche Dupuy de Lôme

Ingénierie des matériaux et des systèmes mécaniques

Créé le 1^{er} janvier 2016, l'IRDLD, nouvelle UMR (unité mixte de recherche) du CNRS, fédère les équipes de recherche en mécanique de l'Université de Bretagne Sud (UBS), de l'ENSTA Bretagne, de l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) et de l'ENIB.

EVALUÉ EN JANVIER 2016 PAR L'HCERES¹, L'IRDLD
A ÉTÉ APPRÉCIÉ POUR

- > son projet scientifique original et ambitieux,
- > le bon équilibre entre études amont et appliquées,
- > les nombreuses interactions avec les entreprises
- > l'excellente qualité de la formation par la recherche.

LES ÉQUIPES ENSTA BRETAGNE CONTRIBUENT
À 3 DES 5 PÔLES THÉMATIQUES DE RECHERCHE

- > PTR1 Composites, nanocomposites, biocomposites,
- > PTR2 Assemblages multi-matériaux
- > PTR3 Structures, fluides et interactions
- > PTR4 Systèmes énergétiques et procédés thermiques
- > PTR5 Comportement et durabilité des matériaux

ENSTA BRETAGNE
EST LE 2^e
CONTRIBUTEUR
DE L'IRDLD

TROIS AXES TRANSVERSAUX,

rattachés chacun à un domaine industriel, sont privilégiés
et confèrent à l'IRDLD son positionnement original en France.

- > **MER** : construction navale, offshore, EMR
- > **TRANSPORT** : automobile, aéronautique
- > **DÉFENSE** : naval, terrestre

CONTACT Sylvain Calloch, Professeur des universités, Directeur adjoint de l'IRDLD
sylvain.calloch@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 87 23

ACTIVITÉ TOTALE DE L'IRDLD

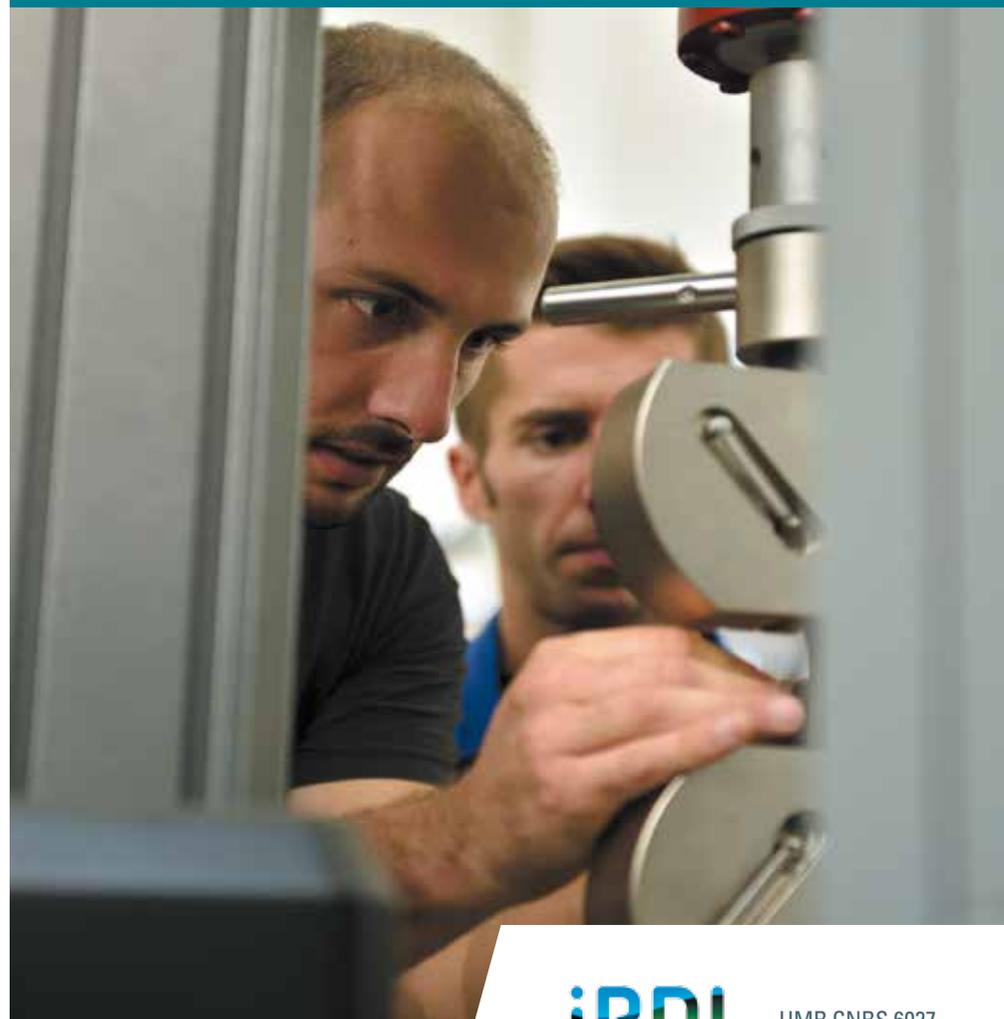
2018

300
membres dont 130
doctorants

30
thèses
soutenues
par an

+ de 4 M€
de chiffre
d'affaires /an

200
publications ACL²



IRDLD
Institut de Recherche Dupuy de Lôme

UMR CNRS 6027
www.irdld.fr

(1) HCERES : Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur
(2) Publications «ACL» : Articles à Comité de Lecture, publiés dans des revues référencées.

2018 FAITS MARQUANTS

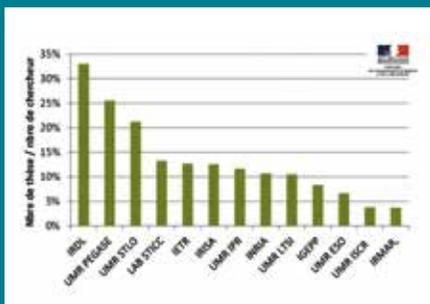
RECONNAISSANCES

NOUVELLE UMR

Le CNRS a officiellement élevé l'IRDL au rang d'UMR (unité mixte de recherche) le 1^{er} mars 2018, attestant de l'originalité et de la qualité du programme scientifique du laboratoire.

1^{er} LABORATOIRE BRETON EN NOMBRE ET TAUX DE THESES CIFRE

L'IRDL est le 1^{er} laboratoire breton en proportion et volume de thèses associant l'industrie, toutes disciplines confondues (cf. graphique ci-dessous). Les délégués régionaux de la recherche et de la technologie (DRRT) en font état dans leur rapport 2018 : avec 33% de doctorants sous contrat CIFRE avec une entreprise (convention industrielle de formation par la recherche), l'IRDL occupe très largement la 1^{re} place de la région Bretagne sur ce dispositif. Le projet scientifique répond étroitement aux problématiques de R&D des entreprises et participe efficacement à l'innovation de son environnement socio-économique.



Données issues du rapport DRRT 2018
Situation de la région Bretagne sur le dispositif CIFRE

ACCUEIL DU CONGRÈS FRANÇAIS DE MÉCANIQUE EN AOÛT 2019

L'IRDL a été retenu par l'Association Française de Mécanique (AFM) pour organiser, à Brest, la 24^e édition du Congrès Français de Mécanique, du 26 au 30 août. Près d'un millier de chercheurs et scientifiques sont attendus à ce congrès sur les défis scientifiques et technologiques en mécanique, soutenu par la région Bretagne, le Conseil départemental du Finistère et la ville de Brest. Cette édition brestoïse mettra l'accent sur l'ingénierie marine, thème phare de l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme. Les thématiques traitées seront nombreuses : procédés de mise en forme par grandes déformations, durabilité des matériaux et des structures en génie civil, endommagement - rupture, vibrations et acoustique, turbulence, mécanique pour les énergies renouvelables...



RAYONNEMENT NATIONAL ET INTERNATIONAL

PRINCIPAUX PARTENAIRES : 2CA, Arcelor Mittal, ArianeGroup, Bureau Veritas, Cerema, DGA, ECM (Engineering Conception Maintenance), Engie, FMC (Florian Madec Composites), France Energies Marines, Ifremer, Ino-rope, Marine nationale, Méca, MicroMega, Naval Group, PSA Groupe, Rescoll société de recherche, SAFRAN (Aerospace-Defence-Security, Reosc, AircraftEngins, Messier-Bugatti-Dowty), Vibracoustic.

PARTENAIRES INTERNATIONAUX : Université de la Bundeswehr (Munich), Université de Pitesti (Roumanie), DST Group (Melbourne), DIK (Hamburg), TUC (Chemnitz)

PUBLICATIONS INTERNATIONALES : EXEMPLES DE REVUES (avec comité de lecture) : Thin-walled structures, International Journal of Adhesion & Adhesives, International Journal of Fatigue, Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, Journal of Materials : design and applications, Polymer testing, Continuum Mechanics and Thermodynamics, Journal of Materials Engineering and Performance, Engineering Structures, Materials Research Express, Journal of Intelligent Material Systems and Structures. De plus, un chapitre d'ouvrage est paru dans Handbook of Adhesion Technology.

COLLOQUES SCIENTIFIQUES INTERNATIONAUX

- > organisation de la session « Polymères » du congrès ACE-X (Advanced Computational Engineering and Experimenting) à Amsterdam
- > membre du comité scientifique de MTDM (Mechanics of Time Dependent Material) à Milan et d'ECCMR (European Conference On Constitutive Models for Rubber),
- > organisation de deux conférences internationales en hydrodynamique et balistique (IWWWFB'18 et GSEBS'18, cf. page 27).

SÉJOUR DE RECHERCHE AU DST GROUP, A MELBOURNE

DST Group (Defence Science and Technology) désigne l'agence australienne de recherche dans le domaine de la défense. Le projet proposé, d'une durée de 6 mois, visait l'amélioration de la compréhension du diagnostic sur structure composites, en testant la capacité de techniques infrarouge pour qualifier l'endommagement et les conséquences de celui-ci sur les performances et la tenue en service (durée de vie résiduelle). La collaboration avec Nik Rajic du DST Group s'est révélée très fructueuse et se poursuit.



PTR2 - Assemblages multi-matériaux

MOTS CLÉS : ASSEMBLAGE, COLLAGE, SOUDAGE, FRITTAGE, FABRICATION ADDITIVE, MULTI-MATÉRIAUX

6
thèses en 2018 dont
3 soutenues

FAITS MARQUANTS

2018

EXEMPLE DE PUBLICATION

Chapitre d'ouvrage dans Handbook of Adhesion Technology (2nd edition)

COLLABORATION INTERNATIONALE

avec l'Université de Pitesti (Roumanie) : accueil de post-doctorant et stagiaires (programme ERASMUS+) sur le thème du soudage par friction-malaxage (FSW)



AXES DE RECHERCHE

- > Etudier et optimiser les procédés d'assemblage : assembler des matériaux de différentes natures, munies de nouvelles préparations de surface.
- > Instrumenter à cœur des assemblages (FGB, QRS, CIN...).
- > S'appuyer sur des dispositifs expérimentaux originaux.
- > Développer des outils de dimensionnement des assemblages collés et prendre en compte les paramètres liés aux procédés de collage.
- > Caractériser la tenue à long terme des assemblages en environnement sévère.
- > Développer des techniques hybrides (soudo-collage...) pour les structures multi-matériaux, afin d'atteindre des performances en termes de caractéristiques mécaniques.

COMPÉTENCES

- > **Instrumenter** au cœur de l'assemblage
- > **Caractériser** les propriétés multi-physiques des matériaux et le comportement à long terme des assemblages collés et soudés
- > **Modéliser** à différentes échelles les phénomènes physiques au cours et à l'issue du procédé d'assemblage, jusqu'à la rupture.

EXEMPLES DE PROGRAMMES DE RECHERCHE

- > **DGA RAPID CIBLES** : développement d'un assemblage collé structural multimatériaux offrant une protection balistique (2018-2021 ; avec le PTR3)
- > **DGA MRIS** : Influence du procédé de fabrication sur le flambement d'une coque cylindrique sous compression axiale (2017-2020 ; avec le PTR5)
- > **Projet Européen H2020 RAMSSES** (cf. page 29)
- > **ANR FEM INDUSCOL** : Instrumentation et durabilité des structures multimatériaux collées de systèmes de production d'énergies marines renouvelables (2015-2019).
- > **ANR COSICO** : Comportement, modélisation et simulation du collage structural de structures composites collées, sous une large gamme de température et de vitesse de déformation, et effets du vieillissement, en vue d'améliorer la durabilité des systèmes de production d'énergies marines renouvelables (2014-2019).

THÈSES SOUTENUES EN 2018

- > **Jeremy LE PAVIC** (CIFRE Ariane Group) : « Conception d'assemblages collés mixtes pour applications aérospatiales » (photo 1)
- > **Jaime DESTOUESSE VILLA** (CIFRE Safran Composites) : « Caractérisation et la modélisation des joints de colles sous sollicitations bi-axiales statiques » (photo 2)
- > **Gilles TAHAN** (ARED Région Bretagne) : « Étude des assemblages collés sous choc - propriétés mécaniques après choc laser » (photo 3)

CONTACT David THEVENET
david.thevenet@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 88 07

PTR3 - Structures & interactions

MOTS CLÉS : MODÉLISATION, SIMULATION NUMÉRIQUE, MÉCANIQUE EXPÉRIMENTALE, MATÉRIAUX ET STRUCTURES, DYNAMIQUE/CHOC/IMPACTS, INTERACTIONS FLUIDE STRUCTURE



86 chercheurs de 16 pays ont participé à la conférence IWWWFB'2018 organisée par l'ENSTA Bretagne.

AXES DE RECHERCHE

- > Interactions fluide-structure : étude de la réponse de structures en interaction avec des fluides
- > Comportement dynamique des matériaux et des structures : caractérisation et modélisation de la réponse de milieux continus et de structures, sous sollicitations dynamiques.
- > Chocs, impacts et détonique : étude et modélisation des phénomènes d'impacts balistiques et de chocs en milieux complexes

COMPÉTENCES

- > Impacts hydrodynamiques : approches expérimentales, théoriques et numériques
- > Essais dynamiques et caractérisation du comportement des matériaux
- > Développement de modèles de comportement pour décrire la réponse dynamique de milieux continus complexes
- > Développement de modèles numériques en dynamique rapide et interactions fluide-structure

EXEMPLES DE PROGRAMMES DE RECHERCHE

- > ANR ASTRID APPHY : « Approche probabiliste pour l'évaluation des chargements hydrodynamiques dimensionnants pour appendices de navires sur houle ». L'objectif est d'intégrer plus de précision dans les modèles numériques utilisés en conception navale, prenant en compte les chargements hydrodynamiques liés aux impacts sur vagues. Il s'agit de mieux tenir compte de la répétition et de la variabilité de ces efforts subis par le navire tout au long de sa vie. Le gain de précision attendu contribuera à réduire le poids, limiter les avaries, tout en rallongeant la durée de vie des navires.
- > DGA RAPID CIBLES : « Composites Intégrant un Blindage Léger Equipé et Structurel » (avec le PTR2)

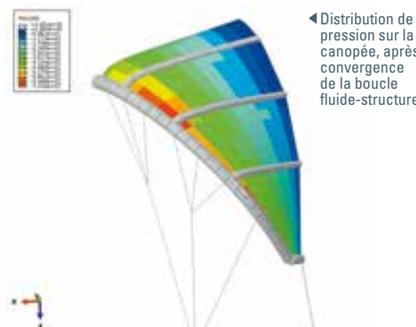
THÈSE SOUTENUE EN 2018

- > **Chloé DUPORT** (ADEME, consortium Beyond The Sea) :

« Modélisation avec prise en compte de l'intrication fluide structure du comportement sous charge d'un cerf-volant pour la traction auxiliaire des navires »

L'année 2018 s'est soldée par la soutenance de thèse de Chloé Duport, thèse financée par l'Ademe via les investissements d'avenir « navire du futur ». Cette thèse est la quatrième et dernière thèse du programme Beyond the sea® à l'ENSTA Bretagne.

Ces travaux, ayant fait l'objet d'un chapitre d'ouvrage aux éditions Springer en 2018, permettent une meilleure compréhension de la sollicitation du cerf-volant en vol et doivent permettre d'envisager la conception d'ailes de très grandes dimensions destinées à la traction de navires porte-conteneurs par exemple. Ce soutien académique de l'ENSTA Bretagne au consortium Beyond the sea®, piloté par Yves Parlier, va se poursuivre jusqu'au 31 décembre 2020.



15
thèses en 2018 dont
1 soutenue

FAITS MARQUANTS

2018

ORGANISATION DE 2 CONFÉRENCES INTERNATIONALES

IWWWFB 2018

International Workshop on Water Waves and Floating Bodies (33^e édition)
iwwwfb2018.ensta-bretagne.fr/

La communauté scientifique internationale d'hydrodynamique navale s'est réunie en avril en Bretagne. Ces mathématiciens et ingénieurs s'intéressent aux vagues et à leurs effets sur les structures marines : modèles pour la tenue à la mer des structures, entrée et sortie d'eau d'objets, énergies marines renouvelables, résistance à l'avancement des navires... 86 chercheurs de 16 nationalités étaient présents (cf. photo).

GSEBS 2018

Greener and Safer Energetic and Ballistic Systems (3^e édition)
gsebs2018.ensta-bretagne.fr

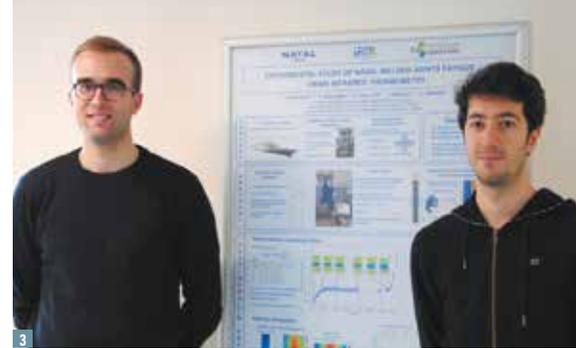
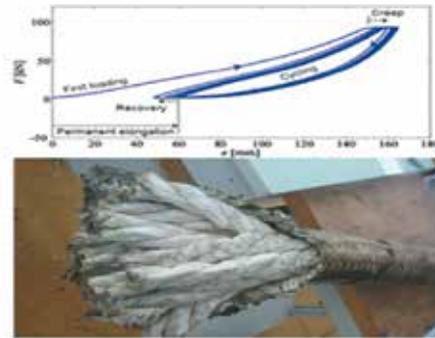
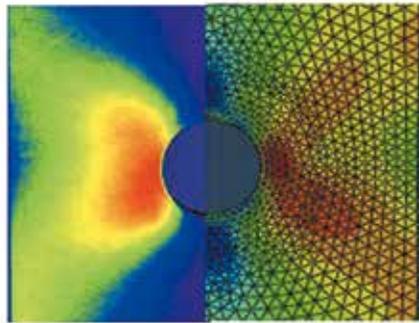
Initié en 2015 dans le cadre d'un programme ERASMUS+, ce cycle de conférence vise à identifier de nouveaux sujets de recherche et d'innovation pour la mise au point de systèmes énergétiques et balistiques plus écologiques et plus sûrs. Lors de l'édition 2018 à l'ENSTA Bretagne il a par exemple été plusieurs fois question de l'utilisation des nanothermites.

Partenaires internationaux : Military Technical Academy (Bucarest, Roumanie), Imperial College (Londres, Royaume Uni), université de Coimbra (Portugal), université d'Edimbourg (Royaume Uni), Ludwig-Maximilians University de Munich (Allemagne), UTBM (France), CVUT (République tchèque).

CONTACT Yves-Marie SCOLAN
yves-marie.scolan@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 88 91

PTR5 - Comportement et durabilité des matériaux hétérogènes

MOTS CLÉS : FATIGUE
VIEILLISSEMENT
TENUE EN SERVICE
MODÉLISATION - ESSAIS



15
thèses en 2018
dont
1 soutenue

AXES DE RECHERCHE

Les travaux de recherche concernent la modélisation et la prévision de la tenue en service des matériaux et des structures. **Nos deux principaux axes de recherche sont :**

- > Comportement non linéaire des matériaux hétérogènes
- > Fatigue et vieillissement des matériaux et des structures

COMPÉTENCES

- > Approche théorique : lois de comportement, modélisation des processus irréversibles et modélisations multi-échelles.
- > Approche expérimentale : à chaque échelle son essai, des mesures de champs au service de la caractérisation rapide, le développement d'essais originaux.
- > Approche numérique : implantation de lois de comportement, approches multi-échelles numériques, outils d'aide au dimensionnement des structures.

EXEMPLES DE PROGRAMMES DE RECHERCHE

- > Projet « **FRAPAN** » (DGA) : Fatigue d'un propulseur marin obtenu par fabrication additive.
- > Projet ANR FEM « **PolyaMoor** » : Ligne d'ancrage polyamide souple et durable pour les Énergies Marines Renouvelables
- > **Thèses CIFRE avec SAFRAN** : investigation thermomécanique pour le dimensionnement en fatigue des composites tissés 3D pour les applications aéronautiques ; détermination rapide des propriétés en fatigue à grand nombre de cycles (à partir d'essais d'auto-échauffement sous sollicitations cycliques) d'alliages métalliques pour des turboréacteurs aéronautiques.
- > **Thèses CIFRE avec Vibracoustic** : les investigations thermomécaniques pour le dimensionnement en fatigue concernant des pièces conçues dans différents matériaux (en mousse polyuréthane ou thermoplastiques renforcées de fibres de verre).

THÈSE SOUTENUE EN 2018

- > **Eduardo ALARCON** (IRD / Czech Technical University) : « Effet de la microstructure sur les propriétés en fatigue des Alliages à Mémoire de Forme à base de NiTi ».

➤ **A NOTER :**
sur les 15 thèses en cours,
11 sont des thèses CIFRE

FAITS MARQUANTS

2018



RÉCOMPENSE INTERNATIONALE

Loïc Carteron et Lorenzo Bercelli (photo 3), en thèse à l'IRD / ENSTA Bretagne, ont été primés pour la qualité de leurs posters lors de la 12^e «**International Conference on Fatigue Damage of Structural Materials**», qui se tenait à **Cape Code aux Etats-Unis**, du 16 au 21 septembre 2018. Sur une trentaine de posters présentés par des doctorants venus des 4 coins du monde, Lorenzo et Loïc ont décroché les 2 prix.

APPROCHE NUMÉRIQUE

(outils d'identification, de post-traitement, implantation de modèles...)

APPROCHE EXPÉRIMENTALE

(à chaque échelle son essai...)

APPROCHE THÉORIQUE

(modèles *ad hoc* et ingénierie de modèles)

Plate-Forme Technologique
MASMECA
Advanced Experimental Mechanics on Materials and Structures

CONTACT Sylvain Calloch
sylvain.calloch@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 87 23

"Laboratoire commun Gustave Zédé

(Naval Group, ENSTA Bretagne)

Après trois années d'existence, les équipes sont pleinement satisfaites de l'organisation et du projet scientifique du laboratoire commun, créé fin 2015. Il permet le développement de projets de R&D et un réel transfert de savoir-faire entre l'ENSTA Bretagne et Naval Group.

Au sein du « labcom » Gustave Zédé et en lien étroit avec le projet scientifique de l'Institut de recherche Dupuy de Lôme, les équipes ENSTA Bretagne et Naval Group mènent une recherche expérimentale et de modélisation sur des problématiques liées à la résistance et la durabilité des matériaux utilisés en conception navale, notamment dans le naval militaire.

Ce dispositif conjoint de R&D permet de développer des outils innovants d'aide au dimensionnement des structures navales sous sollicitations extrêmes.

LES ÉTUDES S'INTÉRESSENT À 3 THÈMES SCIENTIFIQUES PRINCIPAUX :

- > Caractérisation rapide des propriétés en fatigue des matériaux
- > Caractérisation rapide des propriétés en fatigue des assemblages
- > Nouveaux procédés de fabrication et tenue en fatigue

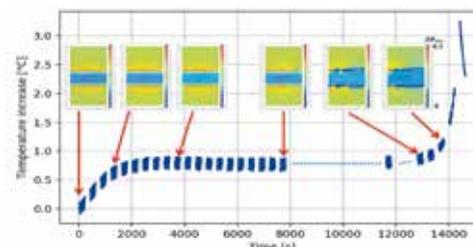
CONTACT Cédric Doudard
cedric.doudard@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 89 27

GRANDS PROJETS 2019

> **Projet Européen H2020 RAMSSES : pour des navires plus propres et plus performants.** 37 partenaires de 11 pays contribuent aux 13 axes d'innovation. L'équipe est en charge des lots sur la durabilité des liaisons collées entre un module composite et une structure métallique et la mise en place d'une chaîne de calcul d'aide au dimensionnement à la fatigue en grand nombre de cycles de propulseurs en acier obtenus par fabrication additive, en incluant la validation par des essais à grande échelle (2017-2020, avec les PTR2 et 5).



> **Projet sur la caractérisation rapide des propriétés en fatigue d'assemblages soudés bruts ou parachevés** (2018-2020, thèse CIFRE).



◀ L'analyse du champ de température mesuré en surface d'un joint soudé permet la détection et le suivi de la propagation de fissures de fatigue

> **Projet EA AMERICO : Amélioration des Méthodes d'Etudes pour la Réalisation et l'Industrialisation des Coques de sous-marins.** Deux thématiques principales seront traitées : le formage et la tenue en fatigue. Il s'agit de mieux définir l'état mécanique initial de la structure, issu de la mise en forme, pour mieux prendre en compte son influence sur la tenue de la structure en service (2019-2022).

FAITS MARQUANTS

2018

DÉMARRAGE DU PROJET EA FRAPAN :

caractérisation et modélisation de la tenue en fatigue de pièces pour bâtiments navals, obtenues par fabrication additive de type Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM). Ce projet a pour but d'améliorer la compréhension du lien entre l'hétérogénéité de la microstructure résultant d'un tel procédé de fabrication et les propriétés en fatigue de la pièce (2018-2020).

Interactions fortes entre ces activités de recherche et la formation d'ingénieurs : le programme scientifique du « labcom » a une nouvelle fois permis la mise en place de projets d'application encadrés pour les étudiants, portant notamment sur la tenue au flambement de structures sous-marines ou sur l'influence des contraintes résiduelles sur les propriétés en fatigue.

Une importante campagne de caractérisation expérimentale a été conduite, portant sur l'hétérogénéité des propriétés matérielles de tôles à l'issue de leur mise en forme.

Le 18 septembre, l'équipe a participé à la JOURNÉE « NAVAL INNOVATION PARTNERS » organisée par Naval Group.

" Laboratoire Lab-STICC

Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance

Du capteur à la connaissance : communiquer et décider

Créé en 2008, le Lab-STICC fédère le CNRS et les équipes de recherche en sciences et technologies de l'information de trois écoles d'ingénieurs et deux universités : IMT Atlantique, ENSTA Bretagne, ENIB, UBO et UBS.

ACTIVITÉ LAB-STICC / SITE ENSTA BRETAGNE EN 2018

► **104**
PUBLICATIONS

► **49**
THÈSES ENCADRÉES

► **3,1 M€**
DE CONTRATS NOTIFIÉS

LE LAB-STICC EST ORGANISÉ EN 3 PÔLES SCIENTIFIQUES, AUXQUELS CONTRIBUE ENSTA BRETAGNE :

- > **MOM** : Microondes, Optoélectronique et Matériaux
- > **CACS** : Communications, Architectures, Circuits et Systèmes
- > **CID** : Connaissance, Information, Décision

ENSTA BRETAGNE CONTRIBUE DANS 5 DES 7 DOMAINES TRANSVERSES :

Les domaines transverses correspondent aux défis sociétaux auxquels le Lab-STICC répond en partenariat avec les entreprises, dans un souci de recherche appliquée.

- 1 **CYRUS** : cybersécurité, nature du cyber-environnement et systèmes de protection.
- 2 **DRONES** : interactions robot-humain, robot-robot et robot-environnement.
- 3 **ICTO** : STIC et Mer
- 4 **IA** : nouveaux modes de représentation et de traitement de l'information par l'intelligence artificielle
- 5 **INDUSTRIE DU FUTUR**

EVALUÉ EN JANVIER 2016, L'HCERES¹ A APPRÉCIÉ :

- > les recherches d'excellence, comme par exemple en télécommunications et activités STIC en relation avec la mer ;
- > l'excellente production des équipes ;
- > la forte interaction du Lab-STICC avec son environnement socio-économique ;
- > la nouvelle équipe « PRASYS », initiée par l'ENSTA Bretagne et sa bonne complémentarité entre STIC et robotique ;
- > la prochaine évaluation aura lieu en 2021.

ACTIVITÉ TOTALE DU LAB-STICC

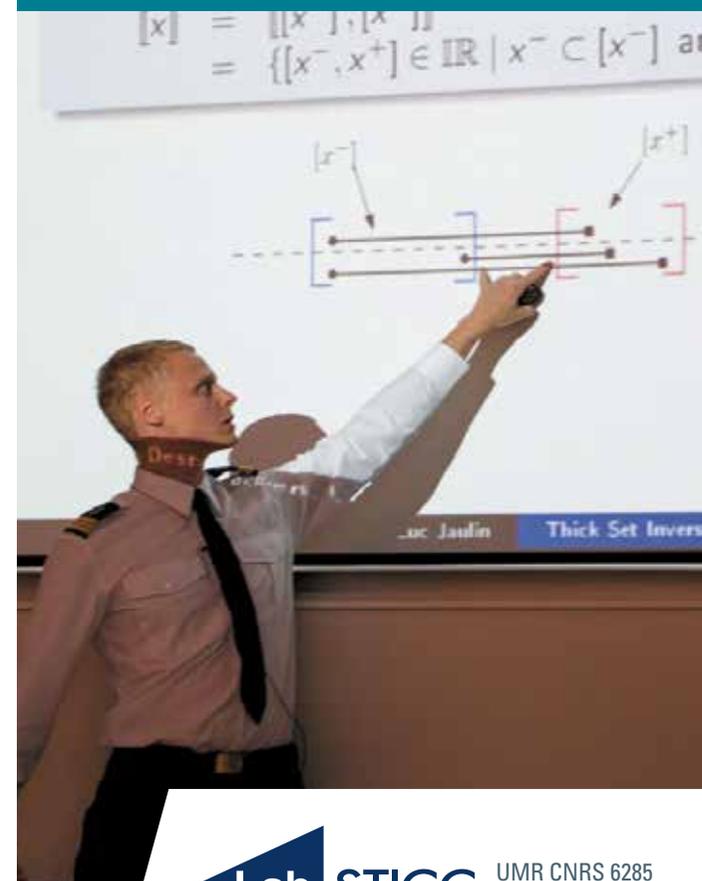
2018

520
membres

dont
200
doctorants

environ
450
publications / an

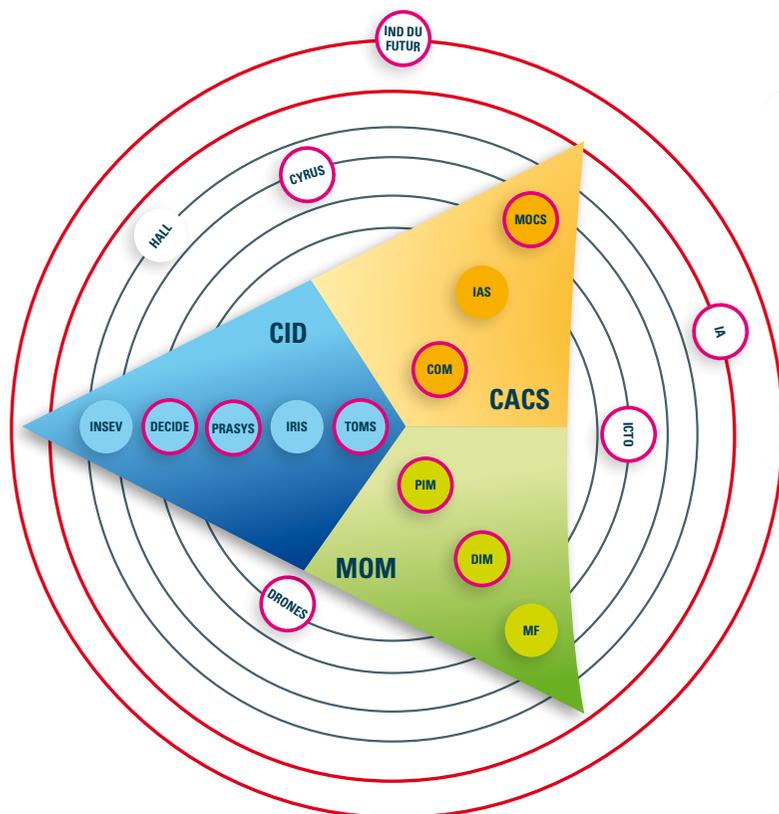
ENSTA Bretagne
est le **3^e**
contributeur
du laboratoire



UMR CNRS 6285
www.lab-sticc.fr

(1) HCERES : Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur.

ENSTA Bretagne est le 3^e contributeur du Lab-STICC



LES ÉQUIPES ENSTA BRETAGNE

Couvrent **les 3 pôles** scientifiques du Lab-STICC

○ Contribuent à **6 des 11 équipes** scientifiques et à **5 des 6 domaines transverses**

En **forte interaction** avec son environnement socio-économique

LES PRINCIPALES ÉQUIPES SCIENTIFIQUES AUXQUELLES CONTRIBUE ENSTA BRETAGNE

AU SEIN DU PÔLE CID (CONNAISSANCE, INFORMATION, DÉCISION) :

TOMS : Traitements, Observations et Méthodes Statistiques (cf. page 32)

PRASYS : Perception, Robotics, Autonomous SYStems (cf. page 33)

AU SEIN DU PÔLE CACS (COMMUNICATIONS, ARCHITECTURES, CIRCUITS ET SYSTÈMES) :

COM : COMMunication digitale (cf. page 34)

MOCS : Methods, Tools for design of Architecture and Circuits(cf. page 35)

AU SEIN DU PÔLE MOM (MICROONDES, OPTOÉLECTRONIQUE ET MATÉRIAUX) :

PIM : Propagation et Interactions Multi-échelle (cf. page 36)

FAITS MARQUANTS

2018

L'ACTIVITÉ CONTRACTUELLE DES ÉQUIPES LAB-STICC ENSTA BRETAGNE AVEC L'INDUSTRIE A ÉTÉ TRÈS IMPORTANTE.

- > Ces équipes bénéficient d'une reconnaissance internationale qui se manifeste par des partenariats de recherche avec Woods Hole, Ocean University of China, IIT Goa ou Flinders University, des présentations dans de nombreuses conférences scientifiques internationales et des récompenses, notamment en robotique marine autonome.
- > Discipline phare, la robotique marine (équipe PRASYS) a étendu son champs d'application à l'archéologie marine, en participant aux recherches de l'épave de La Cordelière. Un zodiac autonome a sondé les fonds marins les moins profonds, complétant ainsi les recherches menées en rade de Brest, par le DRASSM à bord de l'André Malraux.
- > Les recherches en ingénierie médicale ont été amplifiées, en partenariat avec le CHRU de Brest (équipe COM).
- > De plus, tout au long de l'année, ENSTA Bretagne s'est fortement impliquée dans l'axe transverse «IA» créé fin 2017 et le nouvel axe «Industrie du futur» du Lab-STICC (équipe MOCS).

CHAIRES INDUSTRIELLES ET LABORATOIRES COMMUNS

- > Très impliquée en cybersécurité aux côtés de la DGA et des entreprises, membre du pôle d'excellence Cyber, ENSTA BRETAGNE intègre la **CHAIRE DE CYBERDÉFENSE DES SYSTÈMES NAVALS** portée par l'École navale, aux côtés d'IMT Atlantique, Naval Group et Thales. Ces recherches, centrées sur les mathématiques et l'informatique, visent la détection des attaques, la protection des équipements et la résilience aux attaques.
- > **WAVES AVEC THALES** : améliorer les performances des réseaux de capteurs, distribués et autonomes, pour la détection et l'identification automatique en environnement marin. Le développement des technologies robotiques fiables et sécurisées constitue un axe majeur.
- > **LATERAL AVEC THALES** : nouvelles technologies additives pour les dispositifs hyperfréquences, notamment autour de la mise en forme 3D de matériaux thermoplastiques et composites et de la métallisation sélective 3D et de la caractérisation de matériaux.

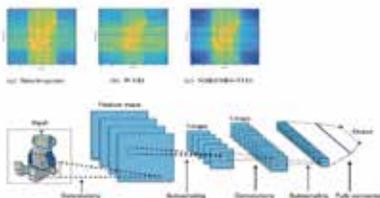
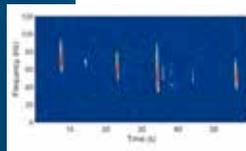
DES MOYENS D'ESSAIS ÉTENDUS

- > Le centre de ressource ENSTA Bretagne permet de tester des dispositifs innovants : systèmes marins, robotique, cybersécurité et hyperfréquence.
- > Les investissements dans ces domaines s'étendent, soutenus par le CPER (Contrat de Plan Etat-Région) 2015-2020.

CONTACT

Benoît CLÉMENT, enseignant chercheur
Responsable Lab-STICC site ENSTA Bretagne
benoit.clement@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 89 70

Équipe TOMS - Traitements, observations et méthodes statistiques



AXES DE RECHERCHE

L'équipe contribue sur des aspects méthodologiques et pratiques au traitement statistique du signal et des images. Les applications, qui constituent un moteur essentiel de sa recherche, concernent l'étude des environnements, et plus particulièrement le traitement des données issues de systèmes d'observation marins ou aériens.

- > Développement de **méthodes d'estimation, de détection et de représentation des signaux**.
- > **le monitoring de l'environnement marin et sous-marin** : localisation de sources acoustiques, caractérisation du milieu, de la nature et de l'évolution des fonds, détection et reconnaissances d'objets.
- > **la télédétection spatiale et aéroportée** : estimation spatio-temporelle de champs géophysiques et de dynamiques écologiques ; détection et reconnaissance d'objets (navires, avions...) ; surveillance de zones d'intérêt (détection, suivi...).

COMPÉTENCES

- > biologie marine,
- > acoustique passive, radar à synthèse d'ouverture,
- > traitement du signal/image avancé : traitement d'antenne, analyse temps-fréquence, méthodes non-linéaires, inférence bayésienne, modèles parcimonieux, acquisition compressée (compressed sensing),
- > data science pour la mer & big data : apprentissage automatique (deep learning...).

APPLICATIONS :

Défense (acoustique sous-marine et radar), biologie marine, observation de l'environnement.

EXEMPLES DE PROGRAMMES DE RECHERCHE

- > **DGA ASTRID «Deep Detect»** : Détection et reconnaissance d'objets multiples sur fonds variables par apprentissage profond. (Partenaires : IRISA, UBO UMR AMURE, MBDA).
- > **ANR «OrcaDepred»** : Evaluation des conséquences écologiques et socio-économiques de la déprédation exercée par les cétacés sur les pêcheries à la palangre, approche technico-économique en vue de sa suppression. L'équipe utilise le suivi par acoustique passive pour évaluer le niveau d'impact du bruit des navires sur l'attrance des cétacés. (Partenaires : CEBC-CNRS, MNHN, UBO AMURE, INRA BIOSP, IRD MARBEC, IFREMER).
- > **«OHASISBIO»** : Observatoire hydroacoustique de la sismicité et de la biodiversité dans l'océan Indien (Partenaire : LGO UBO).
- > **«GLIDER AND WHALES»** : Utilisation d'un glider acoustique pour le suivi des baleines (Partenaire : Fondation Total pour la biodiversité).
- > **«OSMOSE»** (Open Science meets Ocean Sounds Explorer) : projet collaboratif en acoustique passive sous-marine pour l'observation des océans (Partenaires : IMT Atlantique, IUEM, WHOI (Institut océanographique de Woods Hole).
- > **« Traitement de données acoustiques** en vue de la caractérisation des fluctuations de l'environnement marin » (commande DGA TN ; avec WHOI)

THÈSES SOUTENUES EN 2018

- > **Rémy EMMETIERE** (CIFRE THALES) : « Discrimination en profondeur de source acoustique en eau profonde via l'utilisation d'invariants d'antenne et de guide d'onde ». Encadrement académique : WHOI, ENSTA Bretagne/TOMS.
- > **Gaëtan RICHARD** (financement : régions Deux Sèvres et Poitou Charentes, programme ANR ORCA Depred) : « Conflits d'usage hommes/mammifères marins dans les pêcheries - Evaluations des pertes économiques, recherche de solutions.
- > **Ayoub KARINE** : « Traitement et classification parcimonieuse des images radar pour l'aide à la reconnaissance de cibles » (thèse co-encadrée par les équipes TOMS et PIM, cf. page 36, en lien avec le développement et l'application de l'IA dans le domaine radar).

CONTACT

Angélique Drémeau
angelique.dremeau@ensta-bretagne.fr
Tél. : +33 (0)2 98 34 89 71

MOTS CLÉS : ENVIRONNEMENT MARIN, IMAGERIE RADAR (SAR/ISAR), BIOACOUSTIQUE SOUS-MARINE, MACHINE LEARNING ET APPRENTISSAGE, DATA SCIENCE, BIG DATA, RECONNAISSANCE DE CIBLES, FUSION, AIDE À LA DÉCISION.

8

thèses en 2018
dont 3 soutenues

FAITS MARQUANTS

2018

- > INTÉGRATION DANS ALLOHA (Campus mondial de la mer).
- > ORGANISATION DE LA 5^e ÉDITION DU WORKSHOP SERENADE : Etude et Reconnaissance de l'Environnement marin par Acoustique Discrète, 16-18 octobre 2018. Ce colloque réunit, tous les deux ans, les chercheurs francophones du domaine.
- > ANIMATION DE LA SESSION « DEEP LEARNING FOR REMOTE SENSING IMAGES » à la conférence internationale « on Advanced Technologies For Signal & Image Processing » (ATSIP 2018)
- > PARTICIPATION AU 8^e WORKSHOP DCLDE (Detection, Classification, Localization, and Density Estimation of marine mammals using passive acoustics).



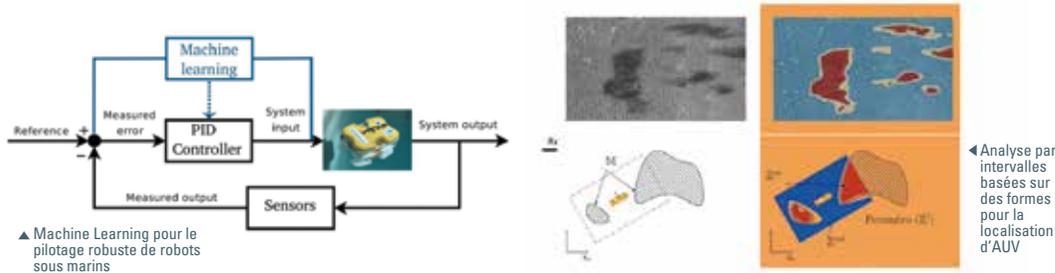
COLLABORATIONS INTERNATIONALES :

- WHOI : l'Institut océanographique de Woods Hole (Etats-Unis)
- Applied Physic Laboratory de l'Université de Washington (Etats-Unis)
- Contribution au réseau « Southern Ocean Research Partnership » (IWC-SORP), qui réunit les chercheurs de 13 pays pour la protection des baleines.

Équipe PRASYS - Perception, Robotique, Autonomous SYStems

MOTS CLÉS : ROBOTIQUE MOBILE, SYSTÈME AUTONOME, LOCALISATION, PERCEPTION, CONTRÔLE

19
thèses en 2018
dont 5 soutenues



AXES DE RECHERCHE

Les activités de l'équipe se concentrent sur le **développement d'algorithmes pour les robots autonomes mobiles de perception de l'environnement physique**. La réalisation de tels systèmes repose sur la maîtrise de trois composantes : la perception, l'action et leur interaction. Un système autonome de perception doit simultanément assurer l'analyse des données acquises sur son environnement proche, établir une connaissance de cet environnement et, en fonction de cet environnement, organiser de façon autonome sa mission en termes de pilotage et de navigation. Cette problématique récente est issue du domaine de la robotique dans laquelle l'interaction robot-environnement se fait via le capteur, ce qui nécessite l'étude des mécanismes action-perception.

Deux principaux axes de recherche ont ainsi été définis, l'un centré sur la perception et l'autre sur l'action. L'interaction indispensable à l'autonomie du système autonome est répartie sur ces deux axes, baptisés respectivement :

- > **Axe 1 : Action Autonome**
- > **Axe 2 : Perception Autonome**

La perception (axe 2) est le processus par lequel le système essaie de comprendre ses observations et d'élaborer une représentation pertinente, non seulement de l'état actuel de l'environnement, mais aussi de son incertitude. En utilisant les résultats de la perception, le système doit alors raisonner sur les actions (axe 1) à conduire pour atteindre ses objectifs de mission selon certains critères comme l'efficacité, la sécurité, la rapidité ou encore la consommation énergétique.

APPLICATIONS

Défense et sécurité, archéologie sous-marine, intervention en environnement hostile

COMPÉTENCES

L'équipe est formée de chercheurs spécialisés d'une part dans le traitement de l'information, d'autre part dans la robotique et l'automatique. Elle propose des outils mathématiques originaux, en particulier les méthodes ensemblistes, adaptés à la gestion des incertitudes dans un environnement non structuré, comme le milieu marin.

EXEMPLES DE PROJETS DE RECHERCHE

- > Contrat de recherche SHOM « **NAVIDRO** » (12 mois) pour le développement d'un simulateur de NAVigation précise des DRONES sous-marins.
- > Projet DGA MRIS « **Validation de drones et essaims de drones autonomes** » (36 mois) avec l'Ecole Polytechnique, ISAE, ENSTA ParisTech.
- > Bon de commande DGA TN « Réalisation d'une étude sur la génération d'images sonar de synthèse et sur la détection et la classification automatiques de cibles à l'aide de techniques d'apprentissage profond » (24 mois).
- > DGA Rapid « **Chimaera** » (24 mois) avec OXXIUS, Thales, IMTA : lasers, Détection et évitement de filets, Communications sous-marines.
- > Contrat de recherche DGA TN Brest « **Ident3D** » (36 mois) : Etude de traitements de données 3D pour l'aide à l'identification de mines.

THÈSES SOUTENUES EN 2018

- > **Florian NICOLAS** : « Amélioration des techniques de détection de changement pour la lutte contre les mines sous-marines en situation de surveillance » (CIFRE THALES), dans le cadre du laboratoire commun WAVES.
- > **Benoit DESROCHERS** : « SLAM in unstructured environments; a set-membership approach » (DGA).
- > **Julien OGOR** : « Description morphométrique de la dynamique des dunes et des bancs de sable sous-marins en vue de leur classification » (DGA, ARED).
- > **Rabine KEYETIEU** : « Calibration of Multi-Beam Echo Sounder systems by inverse methods » (CIDCO France).
- > **Dominique MONNET** : « Global Minmax Optimization for robust H-infini control » (Brest métropole, DGA).

HDR : ISABELLE QUIDU OBTIENT SON HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Spécialiste du traitement d'images sonar pour la perception de l'environnement marin, Isabelle Quidu est Maître de Conférences à l'ENSTA Bretagne, et membre du Lab-STICC.

Isabelle Quidu a présenté une synthèse de ses travaux concernant la « perception de l'environnement marin et de la menace à partir d'images sonar haute fréquence : du fond marin à la surface de mer » le 26 janvier 2018 devant un jury international.

CONTACT Isabelle Quidu
isabelle.quidu@ensta-bretagne.fr
Tél : +33 (0)2 98 34 89 21

FAITS MARQUANTS 2018

JUILLET

L'équipe soutient l'archéologie marine et met au point un zodiac autonome (cf. photo), pour les recherches en eaux peu profondes, testé lors des recherches de l'épave de La Cordelière en rade de Brest, conduites par le DRASSM et la région Bretagne.

 Vidéo «un zodiac autonome recherche la Cordelière»
<http://bit.ly/boatbot>

OCTOBRE

Workshop MOQESM organisé dans le cadre de la 11^e édition de la SeaTech Week à Brest sur le thème « Rechercher, trouver et explorer des épaves sous-marines à l'aide de robots »



NOVEMBRE

Prix de la meilleure thèse 2017 du GdR Robotique (1200 ingénieurs et chercheurs en France) remis fin 2018 à Simon Rohou dont les travaux ont été financés par la DGA à 100%, dans le cadre du programme des thèses franco-britanniques entre DGA et DSTL (Defence Science and Technology Laboratory). Sa thèse menée à l'ENSTA Bretagne et à l'université de Sheffield, portait sur la localisation fiable de robots sous-marins.

PUBLICATIONS INTERNATIONALES

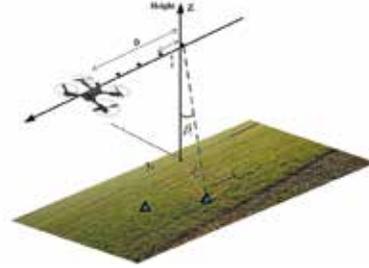
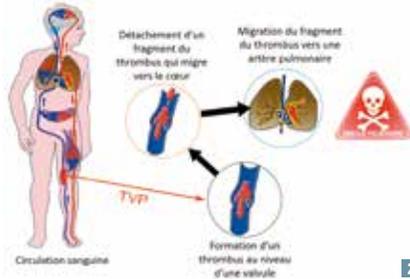
dans des revues comme IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, International Journal of Robotics Research, IEEE Journal of Oceanic Engineering.



PARTENAIRES INTERNATIONAUX

- > CMRE (Centre for Maritime Research and Experimentation, OTAN, Italie), Université de la Plata (Argentine), Ocean University of China (Qingdao).

Équipe COM - Communication numérique



AXES DE RECHERCHE

L'équipe s'intéresse aux méthodes statistiques et aux algorithmes de traitement de signal. Elle les applique à la télécommunication, à la guerre électronique, à la robotique, aux systèmes embarqués, à l'internet des objets et aux applications bio-médicales, en se focalisant sur la radio-cognitive et l'antenne intelligente.

APPLICATIONS

- > Médecine
- > Agriculture intelligente
- > Internet des objets
- > Guerre électronique
- > Robotique
- > Télécommunications, formation de voies (beamforming)

COMPÉTENCES

Méthodes aveugles de traitement du signal, Spectrum Sensing, Radio Cognitive, Théorie de jeux, Transmission sans fil.

THÈSES SOUTENUES EN 2018

- > **Thibaut BERTHOMIER** : « Identification et caractérisation de la phlébite » (CHU Brest, région Bretagne).
- > **Hani EL-FAWAL** : « Machine-to-Machine Communication Congestion Mechanism » (ENSTA Bretagne et Arts, Sciences & Technology University in Lebanon).

EXEMPLES DE PROJETS DE RECHERCHE

Applications médicales, en relation avec l'hôpital des armées et le CHRU, à Brest :

- > acquisition et traitement des électrocardiogrammes d'un fœtus et de sa mère à l'aide de capteurs sans fil,
- > caractérisation et classification de thrombose veineuse profonde (caillot sanguin, figure 1)
- > Utilisation des signaux EEG (électroencéphalographie) et EMG (électromyogramme) pour contrôler une chaise roulante par une personne paraplégique

Utilisation des signaux EOG (électro-oculographie) pour actionner et surfer sur une page web par une personne paralysée

- > Estimation de la volumétrie d'une partie du corps à l'aide d'une caméra 3D
- > Réaliser un capteur ECG sans fil
- > Réaliser un simulateur pour la faculté de médecine
- > Cartographie 3D des veines.

TÉLÉCOMMUNICATIONS

- > En estimant les caractéristiques du canal de transmission, une radio cognitive cherche à modifier ses paramètres de transmission ou de réceptions pour mieux transmettre et protéger l'information.
- > Théorie des jeux pour les communications militaires tactiques : développer des protocoles pour une radio cognitive tactique.
- > Smart Antenna & Software Defined Antenna (SDA), Beamforming (Formation de voies) : l'antenne doit s'adapter automatiquement à son environnement et garder les mêmes caractéristiques avec différents modes et fréquences.
- > Internet des objets et problèmes de réseaux sans fil liés à la coexistence des communications machine-to-machine (M2M) et human-to-human (H2H), en particulier lors de catastrophes

CONTACT **Ali Mansour**
ali.mansour@ensta-bretagne.fr
Tél : +33 (0)2 98 34 87 88

MOTS CLÉS : SÉPARATION AVEUGLE DE SOURCES, STATISTIQUES D'ORDRES SUPÉRIEURES, TRAITEMENT DU SIGNAL, ROBOTIQUE, TÉLÉCOMMUNICATIONS, GUERRE ÉLECTRONIQUE, RADIO COGNITIVE.

7
thèses
dont 2 soutenues

FAITS MARQUANTS

2018

EXEMPLES DE PUBLICATIONS

- > chapitre du livre « Cooperative MIMO and Multi-Hop Relaying Techniques for Free-Space Optical Communications: A Survey » (IOP Publishing Ltd, en avril 2018)
- > articles dans les revues « IEEE Journal of Oceanic Engineering », « Sensors », « Transactions on Emerging Telecommunications Technologies », « The Journal of Engineering of IET Research Journals »

CONFÉRENCES INTERNATIONALES

- > PRÉSENTATIONS :
- EECS 2018 (Berne, Suisse),
- BIBM 2018 (Espagne),
- CAC 2018 (Xi'an, Chine),
- Applepies (Pise, Italie),
- EUSIPCO (Rome, Italie),
- ISWCS 2018 (Lisbonne, Portugal),
- iThings (Halifax, Canada).

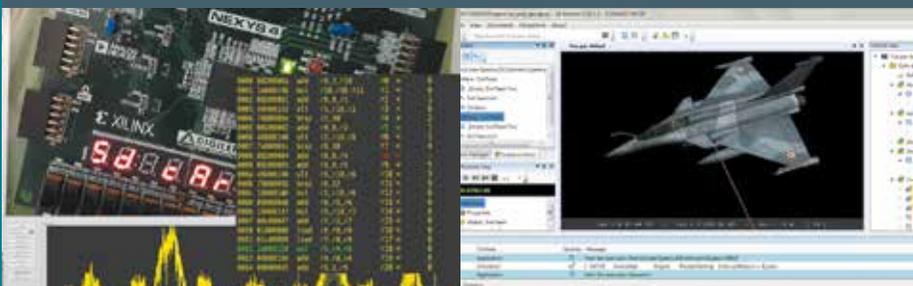


PARTENAIRES INTERNATIONAUX :

- > EUROPE :
 - Pisa University (Italie),
- > MOYEN-ORIENT :
 - AUL, l'université libanaise (UL), AUCE et Balamand University (Liban),
 - SNCS (Arabie Saoudite),
- > OCÉANIE :
 - Curtin University (Australie) ;
- > AFRIQUE :
 - AASTMT (Egypte),
 - Misrata Unibversity (Libye),
 - ESATIC (Côte d'Ivoire),
 - Université Mouloud Mammeri (Algérie)
- > RÉSEAU IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Équipe **MOCS** - Méthodes et outils pour la conception de circuits et systèmes

MOTS CLÉS : FÉDÉRATION ET VÉRIFICATION DE MODÈLES, SYNTHÈSE ET VIRTUALISATION DE CIRCUITS



©UBO / Antoine Barzak

11
thèses en 2018
dont 5 soutenues

FAITS MARQUANTS

2018

ENJEUX

Les villes intelligentes, les maisons connectées, la e-santé, la défense... incluent tous des systèmes embarqués et connectés. La partie logicielle y est très importante et très hétérogène, de par la diversité des matériels qui interagissent, et doit offrir sûreté de fonctionnement, sécurité des communications et protection des données. De plus, l'industrie a de nombreuses attentes en génie logiciel : conception plus rapide, plus sûre, évolutions plus faciles, capacités de virtualisation et de simulation...

AXES DE RECHERCHE

- > Développer des approches méthodologiques de haut niveau, basées sur la modélisation des systèmes selon différents points de vue, pour capter le comportement, les propriétés et les paramètres essentiels. Les objectifs sont de simuler et de vérifier formellement le fonctionnement des systèmes.
 - Méthodologies basées sur la fédération de modèles hétérogènes.
 - Méthodologie et passage à l'échelle des techniques de vérification formelle par modèle checking : systèmes prouvés corrects par construction.
- > Sécurisation du flot de compilation pour les circuits reconfigurables.
- > Virtualisation d'architectures reconfigurables pour la conception de systèmes sur puce (SoC) pérennes et sécurisés.

COMPÉTENCES

- > Techniques de modélisation et de simulation.
- > Langages de programmation et leur sémantique.
- > Techniques formelles de vérification des exigences.
- > Techniques de virtualisation et de programmation de matériel reconfigurable.
- > Sécurité des systèmes et cyberdéfense.

EXEMPLES DE PROGRAMMES DE RECHERCHE

- > **EASE4SE** : Fédération de modèles exécutables pour la simulation opérationnelle de systèmes défense. Collaboration avec la société Sodius.
- > **VeriMoB** : Exécution et vérification formelle de modèles de systèmes de systèmes développés avec le cadre architectural de l'OTAN (NAF). Collaboration avec la société PragmaDev.
- > **Sécurisation d'architectures Overlay** pour un maintien en condition opérationnelle long de circuits numériques (étude école).

THÈSES SOUTENUES EN 2018

- > **Théotime BOLLENGIER** : « Du prototypage à l'exploitation d'Overlays FPGA » (IRT B-com).
- > **Charbel AOUN** : « Framework de développement et de simulation pour observatoire sous-marin » (université AUL au Liban).
- > **Fadi OBEID** : « Validation formelle d'implantation de patrons de sécurité » Application à la vérification de systèmes de commande control industriels (Brest métropole, DGA).
- > **Cyrielle FERON** : « PANThErS : un outil d'aide pour l'analyse et l'exploration d'algorithmes de chiffrement homomorphe » (Brest métropole).
- > **Luka LE ROUX** (photo ci-dessus) : « Validation par parties et non-intrusive de systèmes embarqués ». Cette thèse a été brillamment menée dans le cadre d'une VAE (validation des acquis de l'expérience), un travail de recherche remarquable souligné par le jury, consistant à développer des aspects théoriques dans le domaine de la validation formelle de logiciels et les décliner pour des applications très complexes, comme celles proposées par la SNCF ou NEXTER.

CONTACT **Ciprian Teodorov**
ciprian.teodorov@ensta-bretagne.fr
Tél : +33 (0)2 98 34 89 53



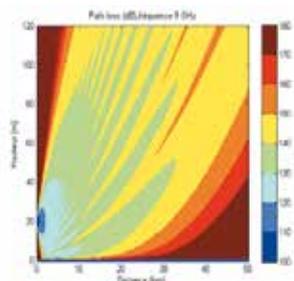
ENTRÉE DANS LA CHAIRE CYBERSECURITÉ DES SYSTÈMES NAVALS

À partir de fin 2018, ENSTA Bretagne s'associe à l'École navale, IMT Atlantique, Thales et Naval Group pour co-diriger les programmes de recherche.

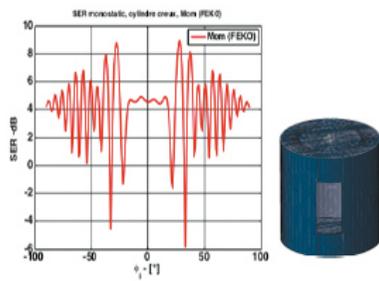
La chaire a été créée en octobre 2014, sous tutelle de la Marine nationale, dans le cadre du plan d'action cyber décidé par le Ministre des armées, avec le soutien de la région Bretagne, pour la détection des attaques, la protection des équipements et la résilience aux attaques, des systèmes navals, civils et militaires.

En intégrant la chaire, ENSTA Bretagne apporte des expertises complémentaires en informatique et en mise en œuvre de traitements accélérés sur plateformes matérielles. Elle investit en particulier les méthodes de conception, d'architecture et de vérification des logiciels pour et par la production d'outils logiciels.

Équipe PIM - Propagation et interactions multi-échelle



▲ Propagation des ondes au-dessus d'une surface maritime



▲ Signature EM d'un cylindre modifié



▲ Approche multi-échelle pour la détection de navires par télédétection spatiale optique et RSO

7
thèses en 2018
dont 1 soutenue

ENJEUX

Développer et améliorer des outils de modélisation et d'optimisation pour l'aide à la représentation et à la compréhension de phénomènes issus de l'interaction des ondes électromagnétiques avec l'environnement. Ces phénomènes sont observés à différentes échelles, du matériau au système.

- > Ces recherches visent notamment à intégrer davantage « d'intelligence » dans les systèmes d'acquisition et d'exploitation des observations issues de systèmes de type radar (aéroporté ou satellite) ou de géolocalisation de type GPS.

APPLICATIONS

Radar ; guerre électronique ; géolocalisation et navigation ; pollution en mer ; surveillance, sécurité et sûreté maritime ; télédétection micro-onde ; reconnaissance de cibles (à partir de signaux/images radar).

THÈMES ET COMPÉTENCES

- > Modélisation et simulation électromagnétique multi-échelle, multi-physique.
- > Propagation et interaction des ondes avec l'environnement (mer, atmosphère, terre).
- > Modélisation et simulation des systèmes hyperfréquences (bilan de liaison, télédétection micro-onde, expérimentation...).

EXEMPLES DE PROGRAMMES DE RECHERCHE

- > **Projet e-PANEMA** (e-Positioning et Aide à la Navigation en Environnement Maritime) : étudier et maquetter les briques technologiques innovantes pour accroître la sécurité et l'efficacité de navigation des navires civils. Partenaires : ENSTA Bretagne/Lab-STICC, SAFRAN, Diades Marine, ENSM ; financeur : ADEME (investissement d'avenir « navires du futur »).
- > **Projet SLERECIM** : Estimation de la signature de cibles navales complexes en mer (apport de SFG et LFG : Somme et Lancer de Faisceaux Gaussiens). Financeur : DGA.
- > **Projet CEPAMOCs** (Caractérisation et Extraction de Paramètres d'une surface de Mer hétérogène Observée par différents Capteurs Satellitaires). Financeur : DGA.
- > **Projet SYMOC** (SYstème Mobile d'Observation et d'Acquisition) : acquisition du matériel du CPER1 SOPHIE (STIC & Ondes, et Photonique) : modules UP/DOWN convertir permettant la transposition en fréquence des signaux émis et reçus ; antennes large bande permettant de couvrir l'ensemble des fréquences utilisées.

THÈSE SOUTENUE EN 2018

- > **Ayoub KARINE** : « Traitement et classification parcimonieuse des images radar pour l'aide à la reconnaissance de cibles » (en co-tutelle avec l'Université Mohamed V de Rabat), en lien avec le développement et l'application de l'IA dans le domaine radar. Thèse co-encadrée par les équipes PIM et TOMS du Lab-Sticc.



PARTENAIRES INTERNATIONAUX

- > Ocean University of China (Qingdao)
- > Ecole Royale Militaire (Belgique)
- > Université M5, Rabat, (Maroc)
- > Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (Algérie)
- > Académie Militaire Fondouk Jedid (Tunisie)
- > Ecole de l'Aviation de Borj el Amri (Tunisie)
- > Defence Science and Technology (DST, Australie)
- > Université d'Adelaide (Australie)

CONTACT Ali Khenchaf
ali.khenchaf@ensta-bretagne.fr
Tél : +33 (0)2 98 34 88 45

FAITS MARQUANTS

2018

CONFÉRENCES INTERNATIONALES

- > membre du comité de pilotage des conférences EGC 2018, ATSIP 2018 et ICOSS 2018 ;
- > membre du comité scientifique et d'évaluation des communications pour les conférences ISIVC 2018, EGC 2018, ATSIP 2018, ICOSS 2018, Radar 2018 (USA), Radar 2018 (Australie), AES 2018.

ACTIVITÉS ÉDITORIALES

- > Editeur invité d'un numéro spécial de « Remote Sensing journal » (Impact factor 3,3).
- > Editeur associé de « European Journal of Remote Sensing » (Impact factor 1,5)

"Que deviennent nos doctorants ?

De nombreuses entreprises et organismes publics ont recruté les docteurs ENSTA Bretagne, le plus souvent à des postes d'ingénieurs de recherche, mais aussi en qualité d'enseignants chercheurs.



EXEMPLES D'EMPLOYEURS



> **EN SCIENCES MÉCANIQUES** : ALSTOM, Armée Marocaine, CNES, EDF, ENSTA Bretagne, GEM, Laboratoire Astroparticules et Cosmologie, LIVBAG, Marine Malaisienne, MBDA, NAVAL GROUP, ONERA, POCLAIN HYDRAULIC, PSA, SAFRAN, SAINT GOBAIN Recherche, SNCF, TECHNIP, TRELLEBORG, université de Lorraine, université de Prague, Wolfgang R&D...



> **EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION** : ALTER Solutions, AUL University (Liban), CMRE (Centre for Maritime Research and Experimentation), DGA, ENSTA Bretagne, GEOWN France, THALES, Université de la Colombie-Britannique (Canada), université de Haute-Alsace...



▲ Diplômé de l'ENSTA Bretagne en 2009, spécialité « modélisation », Julien MAURICE (à gauche sur la photo, prise à Ifremer) a réalisé une thèse CIFRE AIRBUS sur « l'identification de lois de comportement des jonctions collées pour le calcul des structures composites », au sein du laboratoire LBMS (devenu l'IRD). Il a soutenu en 2012. Depuis il exerce son métier d'ingénieur matériaux chez TECHNIP, un groupe industriel international de premier plan du secteur des énergies offshore.

"L'EUR ISblue ?



La seule « Graduate school » française sur la mer. Elle rassemble le meilleur de l'enseignement supérieur en sciences et technologies marines.

ISBLUE (Interdisciplinary graduate School for the BLUE planet) est l'unique école universitaire de recherche dédiée aux sciences et technologies de la mer, sélectionnée et financée dans le cadre du programme d'investissements d'avenir.

Cette « graduate school », comme dans le système international, rassemble les formations les plus élevées de l'enseignement supérieur (masters et doctorats), dans le but de créer de nouvelles formations et de nouveaux projets scientifiques, afin d'étendre l'attractivité internationale des programmes de sciences et technologies marines de l'ouest breton.

Pour ce faire, l'EUR ISBLUE est fondée sur une collaboration étroite entre les universités, les organismes de recherche et les écoles d'ingénieurs, en liens étroits avec les acteurs économiques.

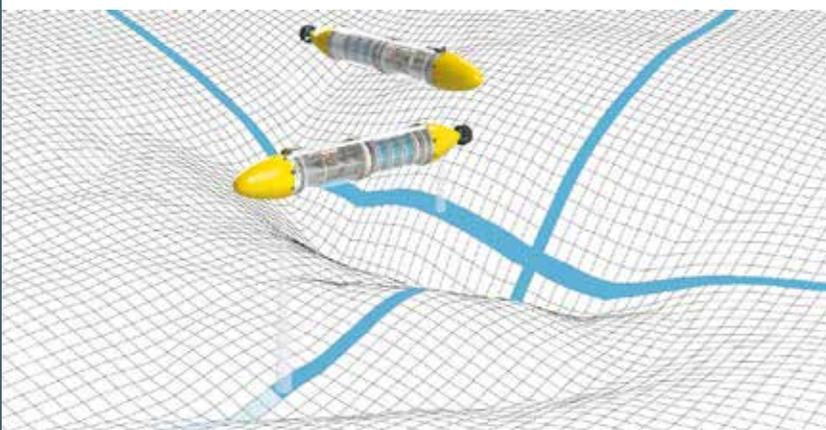
360
étudiants
en masters

260
étudiants
en doctorat

190
chercheurs

200
enseignants

► **9 ÉTABLISSEMENTS PARTENAIRES :**
2 universités (UBO et UBS), 3 organismes de recherche (CNRS, Ifremer, IRD)
et 4 écoles d'ingénieurs (École Navale, ENIB, ENSTA Bretagne et IMT Atlantique).



▲ « localisation fiable de robots sous-marins », thèse de Simon Rohou (Lab-STICC / ENSTA Bretagne) soutenue en 2017 et récompensée fin 2018 par le Groupe de Recherche Robotique du CNRS. Simon est enseignant chercheur à l'ENSTA Bretagne depuis la rentrée 2018.

" Equipe Sciences humaines et sociales (SHS)



Objectif scientifique

INTERROGER LE MÉTIER D'INGÉNIEUR ET SA FORMATION

Les études menées visent à interroger le rapport entre le social et la technique, du point de vue des identités, des savoirs, des organisations et des apprentissages. Elles intègrent les dynamiques socioculturelles du niveau micro (ex. : l'individu face au système technique) jusqu'au niveau macro (ex. : évolution mondiale des systèmes de formation des ingénieurs).

Du laboratoire CRF à l'unité de recherche FAP

Le Centre de Recherche sur la Formation (CRF), avec le CnamParis, CentraleSupélec, l'université d'Evry-Val-d'Essonne et l'UPMC, laisse la place à un nouveau laboratoire depuis le 1^{er} janvier 2019 : l'unité de recherche « **Formation et apprentissages professionnels** » (FAP) EA7529.

Ce nouveau laboratoire de recherche en sciences de l'éducation multi-tutelles est porté par AgroSup Dijon, le Cnam Paris et l'ENSTA Bretagne.

L'unité de recherche FAP est dédiée aux questions de la formation professionnelle et de la formation tout au long de la vie, avec une expertise spécifique sur la formation des ingénieurs. FAP questionne les processus, dispositifs et pratiques de formation et d'éducation.

Les recherches visent à produire des savoirs sur la conception des dispositifs de formation, sur la transmission et la circulation des savoirs, sur l'innovation en formation, sur les dynamiques identitaires, sur le rapport entre apprentissages professionnels et activité au travail et en formation.

Les recherches privilégient trois échelles d'enquête : les apprentissages et leurs processus en contexte, les parcours individuels, les logiques organisationnelles et institutionnelles.

Denis Lemaître, enseignant chercheur à l'ENSTA Bretagne, est directeur adjoint du laboratoire. Linda Gardelle, enseignante chercheuse à l'ENSTA Bretagne, anime et coordonne une des 3 thématiques de recherche, intitulée « Curriculum et dynamiques identitaires ».

CONTACT

Linda Gardelle, enseignante chercheuse, responsable du département SHS
linda.gardelle@ensta-bretagne.fr
 Tél. : +33 (0)2 98 34 89 05

76
membres
et doctorants

dont 10
chercheurs
ENSTA Bretagne

dont 9
doctorants
encadrés par
ENSTA Bretagne

et 4
à l'étranger
co-encadrés par
l'ENSTA Bretagne

Formation & Professionnalisation des ingénieurs

1
HDR
1 thèse
soutenues



SOUTENANCE DE THÈSE DE VALÉRIE SANTIAGO

« **Entre opportunités et stratégies d'apprentissages : l'auto-professionnalisation des formateurs à l'ère du numérique dans les organisations** », thèse soutenue le 26/11/2018. La thèse étudie la manière dont les formateurs en entreprise sont contraints d'évoluer face à la révolution numérique. Elle s'appuie sur l'étude du cas de formateurs de différentes organisations en train de suivre une même formation certifiante à la e-formation. Elle met au jour les différentes stratégies d'apprentissage de ces formateurs, en lien avec leurs cultures d'entreprises.

HDR : LINDA GARDELLE OBTIENT SON HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

« **De l'école aux Grandes écoles : identités prescrites, identités vécues** »

En décembre 2018, Linda Gardelle a obtenu son Habilitation à Diriger des recherches (HDR) en sciences de l'éducation. Elle a présenté les travaux de recherche qu'elle a menés depuis 15 ans sur le rôle de l'éducation dans la construction des identités, individuelles ou collectives, sur différents terrains (en Europe, en Afrique, en Asie). Elle s'est notamment intéressée, dans le cadre de projets de recherche internationaux, à la construction d'une identité professionnelle d'ingénieurs, aux questions de formations et du rôle attendu des ingénieurs dans différentes sociétés.

2 PROJETS DE RECHERCHE INTERNATIONAUX SUR LES ENJEUX DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DÉBUTÉS EN 2018

➤ **Le projet A-STEP 2030** (Attracting diverSe Talent to the Engineering Professions of 2030), entre dans le cadre d'ERASMUS+ Partenariat Stratégique (KA203) pour trois ans. Coordonné par l'ENSTA Bretagne, **il est porté par un consortium de sept membres :**

- ENSTA Bretagne (France),
- Dublin Institute of Technology (Irlande),
- Aalborg University (Danemark),
- Helsinki Metropolia University (Finlande),
- Universum (Suède),
- SEFI (European Society for Engineering Education)
- BEST (Board of European Students of Technology) de Belgique.

L'objectif est de former les futurs ingénieurs, en leur donnant les compétences requises pour relever les défis sociétaux du développement durable (DD), et d'encourager les jeunes à s'engager en formation d'ingénieur avec cet objectif.

➤ **Le projet RIIME :** recherche sur les ingénieurs et la formation à l'innovation au Maghreb face aux enjeux environnementaux. 6 équipes contribuent aux recherches :

- ENSTA Bretagne (France),
- CREAD Alger (Algérie),
- ENSEM Casablanca (Maroc),
- l'université et l'ENI de Sfax (Tunisie),
- un groupe de 5 experts venus du monde industriel et socio-économique.

L'objectif est d'améliorer la contribution des formations scientifiques et techniques à la formation d'« innovateurs » responsables, conscients des grands enjeux contemporains.

AUTRES PARTENAIRES INTERNATIONAUX

- Université de Salerno (Italie),
- Université South of England (Angleterre),
- Technische Universitaet Dortmund (Allemagne),
- Hungarian Academy of Sciences (Hongrie),
- Université d'Aston (Angleterre),
- Education University of Hong Kong (Chine),
- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse),
- Centre de Recherche en Economie Appliquée au Développement Alger (Algérie),
- Université nationale (Mongolie),
- Institut des Sciences sociales du Sud (Viet Nam)...

CONTRIBUTION À DEUX RÉSEAUX DE RÉFÉRENCE EN FRANCE ET EN EUROPE

En France, INGENIUM, qui regroupe les chercheurs en sciences humaines des écoles d'ingénieurs, et son équivalent européen, la SEFI (European Society for Engineering Education) auquel adhèrent tous les chercheurs de l'équipe ENSTA Bretagne, incluant un membre élu en 2018 au comité de direction.

COORGANISATION DES GÉOPOLITIQUES DE BREST 2018

Le 1^{er} et 2 février, cette 12^e édition avait pour thème «La crise économique mondiale 10 ans après. Quel bilan ?»



ÉDITION
(France, Angleterre, Allemagne, Hongrie)

2018

FORMATION DES INGÉNIEURS À L'INNOVATION (ISTE), 2018

Paru en version anglaise sous le titre *Training Engineers for Innovation* (Wiley/ISTE), 2018. Fruit du projet Innov'Ing 2020, avec les contributions de 8 chercheurs de l'équipe parmi les 26 contributeurs de l'édition, l'ouvrage analyse la façon dont les systèmes de formation des ingénieurs s'adaptent aux nouveaux impératifs entraînés par les effets de la mondialisation, de la révolution numérique, de la montée des inégalités et des problèmes environnementaux.

Cet ouvrage propose des moyens de concevoir des pédagogies adaptées à une approche holistique de l'innovation, qui associe les dimensions techniques, économiques, sociales, éthiques et environnementales de l'ingénierie.

Moyens expérimentaux

Ces moyens d'essais exceptionnels sont complétés grâce au **Contrat de Plan Etat-Région (CPER) 2015-2020** qui a retenu en priorités stratégiques des programmes de R&D du domaine maritime et de cybersécurité, co-financés par l'Union européenne, l'Etat, la Région Bretagne, le département du Finistère et Brest Métropole.



► **710 K€**

D'ACQUISITION DE NOUVEAUX
MOYENS D'ESSAIS EN 2018
FINANCÉS PAR LE CPER 2015-2020

Plate-Forme Technologique
MASMECA
Advanced Experimental Mechanics on Materials and Structures

IRDL
Institut de Recherche Dupuy de Lôme

5 PLATEAUX TECHNIQUES

- > Caractérisation dynamique (essais à haute vitesse de sollicitation)
- > Caractérisation thermo-mécanique (sollicitations sous conditions mécaniques et d'environnement contrôlées)
- > Caractérisation physico-chimique (évaluer l'effet de la microstructure sur le comportement mécanique des matériaux)
- > Mesures et observations
- > Prototypage

1200 M² D'ÉQUIPEMENTS

pour caractériser, à plusieurs échelles, tous types de matériaux, d'assemblages et de structures, en lien avec le laboratoire IRDL et le laboratoire commun Gustave Zédé avec Naval Group.

Acquisitions du CPER 2015-2020

ECO-SYS-MER

L'une des ambitions des partenaires du laboratoire IRDL (ENSTA Bretagne, UBS, UBO, ENIB et CNRS) est d'améliorer et assurer la fiabilité des systèmes mécaniques en interaction avec le milieu marin, de l'échelle du matériau à celle du système. Les nouveaux équipements et moyens d'essais s'élèveront à 3.130 k€, dont 2.075 k€ pour l'ENSTA Bretagne.

Acquisitions 2018 :

- > Tribobidenteur
- > Système de sollicitation par pression interne pour machine d'essai de traction/torsion
- > Système de distribution d'azote liquide
- > Potentiostat pour essais de corrosion
- > Dispositif de suivi d'écoulement pour caméra rapide
- > Système de contrôle commande pour machine d'essais à vérins



EXEMPLES DE MOYENS EXPÉRIMENTAUX EN TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION :

- > Chambre anéchoïde
- > Plateforme radio logicielle SDR
- > Systèmes de drones et espace robotique
- > Bassin d'essais
- > Véhicules hydrographiques

Acquisitions du CPER 2015-2020

CYBER SSI

Au sein du pôle d'excellence cyber en Bretagne, ENSTA Bretagne couvre les champs allant de l'antenne et de la chaîne analogique jusqu'à l'analyse de la menace par analyse formelle. Les acquisitions totales au CPER s'élèvent à 2 M€ pour ENSTA Bretagne

SMD-MAR

La capacité des robots sous-marins autonomes à mesurer et surveiller l'environnement océanique de manière répétée, avec qualité et précision, a été démontrée. Ce projet vise à amplifier le potentiel en remplaçant un grand robot sous-marin autonome par un groupe de robots multi-milieux (aérien, surface et sous-marins). L'achat de composants permettant la réalisation de cette flottille de robots a été retenu au CPER pour 865 k€.

Acquisitions 2018 :

- > Drones marins de surface
- > Micro-robots sous-marins autonomes
- > Capteurs acoustiques
- > Station mobile de contrôle commande
- > Petits drones aériens

SOPHIE

L'objectif est de développer un système d'acquisition hyperfréquence permettant de caractériser l'environnement maritime dans différentes conditions.

I-ROMI

L'objectif est de créer une plateforme de recherche et d'expérimentation pour optimiser les systèmes d'observation marine : mesures de meilleures qualités, observatoires moins coûteux, plus robustes, plus adaptables, structures et protocoles d'observation faiblement intrusifs, interaction avec les utilisateurs.

Il s'agit en particulier d'étudier la conception d'observatoires par acoustique passive, innovants et performants, pour le suivi du bruit ambiant sous-marin (géologie, faune et activités humaines).

Acquisitions 2018 :

- > Hydrophones portables
- > Serveur de calcul



▲ Photos de la cérémonie du Palmarès 2018, qui s'est déroulée le 24 novembre à l'ENSTA Bretagne, durant laquelle ont été mis à l'honneur les nombreux diplômés de la promotion Claudie Haigneré.

2, RUE FRANÇOIS VERNY, 29806 BREST CEDEX 9
www.ensta-bretagne.fr/en

