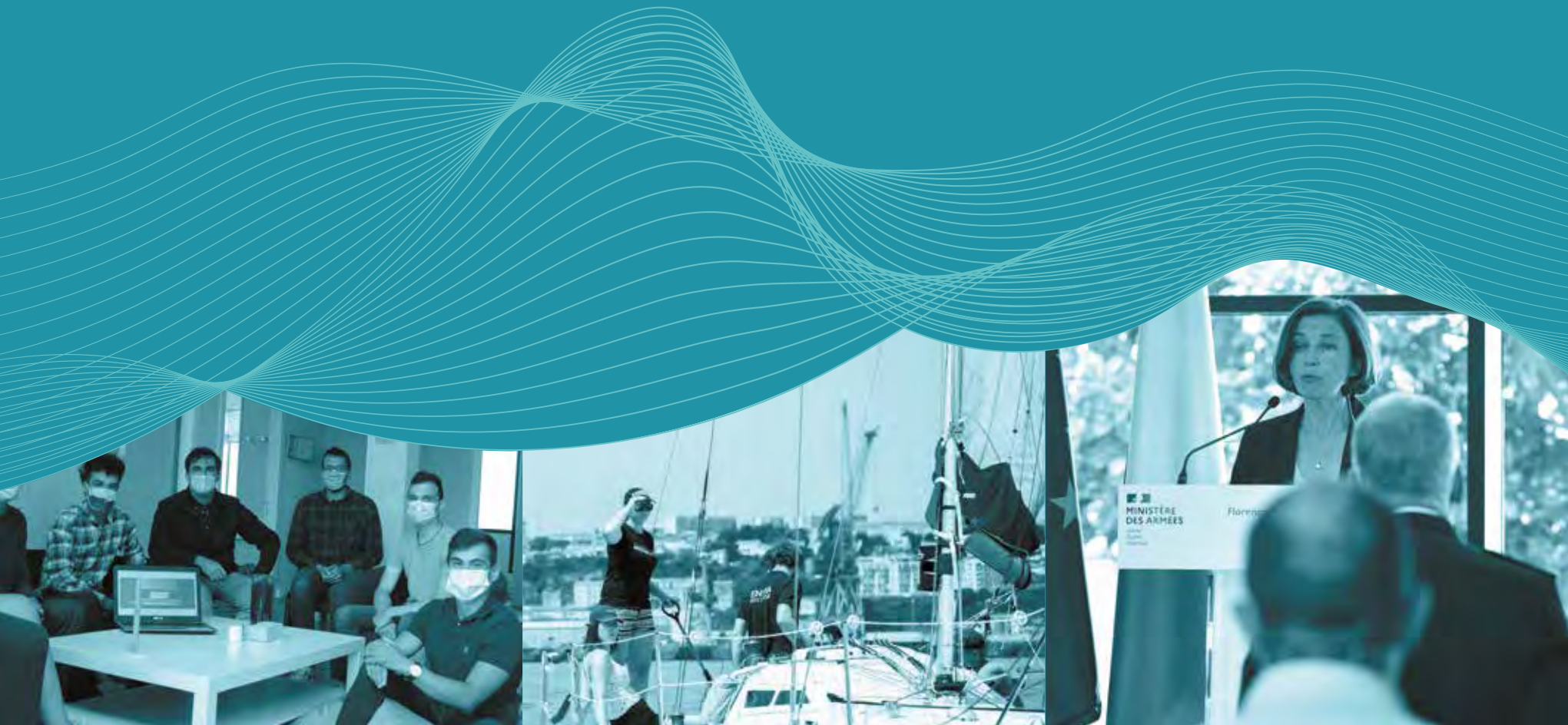




**ENSTA
BRETAGNE**

BILAN SCIENTIFIQUE 2020



A man wearing a grey long-sleeved shirt and a dark blue face mask is sitting at a desk in a laboratory. He is looking at a computer monitor. In the background, there is a large, light-colored, dome-shaped object, possibly a piece of scientific equipment. The scene is lit with a cool, blueish light. A decorative graphic of white wavy lines is overlaid on the bottom half of the image.

LA RECHERCHE

RECHERCHE

Espérons que 2020 reste une année unique tant les effets de la pandémie ont créé de drames humains et de situations particulièrement difficiles sur l'ensemble de la planète.

A une échelle bien moindre, les activités de recherche menées à l'ENSTA Bretagne ont été impactées, en particulier lors du confinement du premier semestre. Les activités expérimentales ont été suspendues, les travaux se sont déroulés en télétravail, les équipes ont trouvé des modalités d'organisation à distance pour maintenir les échanges scientifiques. Le maintien du lien social entre enseignants-chercheurs, doctorants et post-doctorants a pris une importance, dont l'acuité était probablement insoupçonnée jusqu'alors.

Au final, l'activité de recherche s'est globalement bien maintenue et les effets de la crise résultent principalement en quelques semaines ou mois de retard dans la production des résultats et rapports d'études. De nouveaux projets et prises de commandes se sont poursuivis notamment au second semestre.

On observe donc à court terme de très faibles conséquences de la crise sanitaire, mais l'évolution de la situation économique dans l'année à venir reste un point d'attention.

L'année 2020 a aussi été une année de préparation des dossiers d'évaluations des activités de l'école par le HCERES (Haut Conseil à l'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement

124

THÈSES en cours, soutenues et débutées

12,4 M€

DE CONTRATS notifiés en 2020

150

PUBLICATIONS et communications en conférences

Supérieur), en particulier de ses activités de recherche. Outre le volet recherche de l'évaluation de l'école, les équipes se sont mobilisées, en lien avec les autres établissements partenaires, dans la réflexion et la rédaction des dossiers des unités de recherche [UMR IRDL et Lab-STICC], des écoles doctorales [ED SPIN, Collège doctoral de Bretagne], des Diplômes Nationaux de Master [DNM en propre ou en co-accreditation]. Ces différents travaux, dans un contexte de distanciation sociale, ont cependant été menés à leur terme dans le respect de calendriers contraints. Ils font l'objet de visites par les comités HCERES (en distanciel malheureusement) qui ont débuté fin 2020 et se poursuivent début 2021. Ces dossiers et audits sont importants pour la poursuite de l'accréditation des différentes structures de recherche auxquelles l'école participe pour la période 2022-2026. Et l'évaluation de la stratégie de recherche de l'ENSTA Bretagne est intéressante dans la perspective de la préparation du COP (contrat d'objectifs et de performance) 2022-2026, qui lie l'école à sa tutelle.

L'importante et croissante production scientifique, et plusieurs réussites, jalonnent l'année 2020.

- L'IRD L a ainsi intégré l'institut CARNOT ARTS, reconduit en février 2020, et qui est classé 6^e sur 39 en termes de chiffre d'affaires.
- L'IRD L, en partenariat avec Safran Group et Naval Group, a été l'un des 5 lauréats de l'appel à projet ANR 2020 consacré aux chaires industrielles : le projet Self-Heating, consacré à l'étude des propriétés en fatigue des matériaux et structures, est le premier projet de ce type obtenu en région Bretagne, depuis la création des chaires ANR en 2011.
- Enfin, l'école a renforcé notablement son positionnement dans le domaine des activités au profit de la défense, via le lancement de 12 nouveaux projets de recherche financés par l'AID.

SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

FoAP UR 7529
> page 44

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

Lab-STICC
UMR CNRS 6285
> page 36

SCIENCES MÉCANIQUES

IRD L
UMR CNRS 6027
> page 30

EFFECTIF RECHERCHE

246

PERSONNELS ET DOCTORANTS




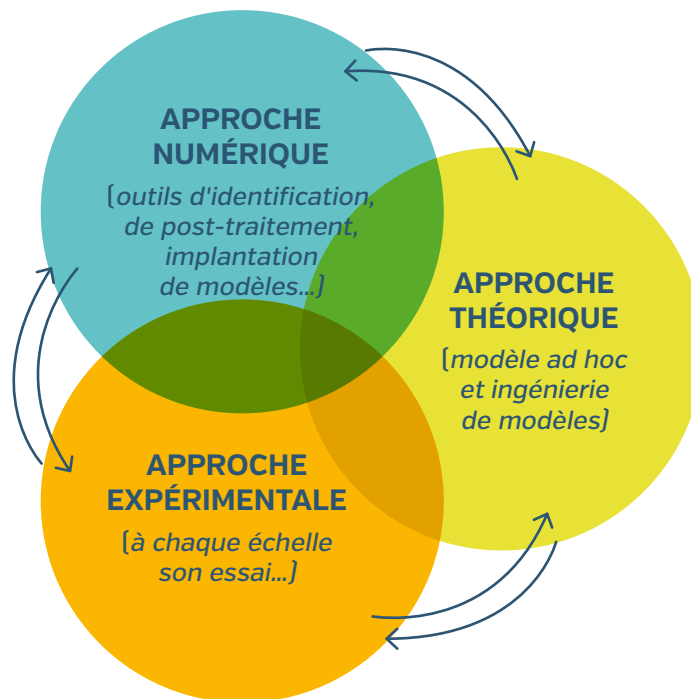
Yann Doutreleau
Directeur scientifique

Institut
de Recherche
Dupuy de Lôme
UMR CNRS 6027
institut Carnot ARTS

IRDL / SCIENCES MÉCANIQUES

FICHE D'IDENTITÉ

- Créé le 1^{er} janvier 2016, l'IRDL est un laboratoire d'excellence d'envergure nationale et internationale en sciences mécaniques.
- Fruit de la fusion de laboratoires reconnus, il fédère les équipes de recherche de 2 universités et 2 grandes écoles : **UBS, UBO, ENSTA Bretagne et ENIB.**
- C'est une unité mixte de recherche du CNRS [UMR 6027], rattachée à l'INSIS.
- **300** membres, dont 120 doctorants.
- Environ **200** publications dans des revues internationales à comité de lecture/an.
- **Le 1^{er} laboratoire breton en proportion et volume de thèses associant l'industrie** [cf. rapport DRRT 2018 : 30 % de doctorants sous contrat CIFRE² avec une entreprise]
-  **irdl.fr**



**ENSTA Bretagne
est le 2^e contributeur
de l'IRDL. "**



67

PUBLICATIONS



53

THÈSES ENCADRÉES



5,95 M€

DE CONTRATS
NOTIFIÉS

PROJET SCIENTIFIQUE DE L'IRDL

Ingénierie des matériaux
et des systèmes mécaniques.

L'IRDL est apprécié pour son projet scientifique original et ambitieux, le bon équilibre entre études amont et appliquées, les nombreuses interactions avec les entreprises et la qualité de la formation par la recherche.

L'UMR est organisée en **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 hétérogènes.**

ENSTA Bretagne contribue principalement aux pôles 2, 3 et 5, et à moindre échelle au pôle 1.

3 axes transversaux, rattachés chacun à un domaine industriel, sont privilégiés et confèrent à l'IRDL son positionnement original en France.

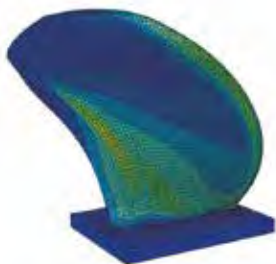
- MER : construction navale, offshore, EMR.
- TRANSPORT : automobile, aéronautique.
- DÉFENSE : naval, terrestre.

CONTACT

Sylvain CALLOCH
Professeur des universités,
Directeur adjoint de l'IRDL
sylvain.calloch@ensta-bretagne.fr
T. +33 (0)2 98 34 87 23



Triboindenteur pour essais mécaniques à l'échelle nanométrique (microstructure des matériaux)



Chaire ANR "Self Heating" avec Naval Group et Safran : prédire la tenue en service des systèmes mécaniques.

TEMPS FORTS DE L'ANNÉE 2020

Au 1^{er} janvier 2020, l'IRDL a intégré l'institut Carnot ARTS

L'IC ARTS (Actions de Recherche pour la Technologie et la Société) vise le développement d'une recherche de pointe sur les grandes problématiques de l'industrie du futur. IC ARTS figure parmi les premiers instituts labellisés Carnot par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche dès 2006 : il représente une garantie d'excellence scientifique et de qualité pour favoriser le développement de la recherche partenariale.

Inauguration d'un 2^e bâtiment de recherche dédié aux sciences mécaniques

Les moyens expérimentaux importants et performants ont été amplifiés, pour la caractérisation, la sollicitation mécanique et de métrologie. Ceux-ci sont multiples et rassemblés sur le campus ENSTA Bretagne au sein de la plateforme technologique MASMECA.

Grâce au contrat de Plan Etat Région et à la DGA, ce second bâtiment (1600 m²) et des équipements nouveaux ont été livrés début 2020.

- Au rez-de-chaussée, les salles sont dédiées aux essais mécaniques sur les **phénomènes dynamiques et énergétiques**, avec des équipements comme un tube à choc, des canons de Taylor et une zone pyrotechnique.
- Au 1^{er} étage, outre les bureaux des chercheurs et doctorants, un ensemble de salles techniques spécialisées concernent l'étude des matériaux et assemblages à l'échelle de la **microstructure** (observation des phénomènes mécaniques et physico-chimiques^o). Exemples d'équipements : un triboindenteur (pour mesurer le niveau d'hétérogénéité des propriétés mécaniques d'un matériau, à l'échelle micro et nanométrique), un microscope électronique à balayage (pour observer la réaction physique d'un matériau à l'échelle de l'atome), une balance DVS (pour mesurer avec une très haute précision la prise d'eau d'un matériau)...

+ d'infos sur les moyens expérimentaux en mécanique : [page 35 + \[masmeca.ensta-bretagne.fr\]\(http://masmeca.ensta-bretagne.fr\)](#)

NOUVELLE CHAIRE INDUSTRIELLE ANR « SELF HEATING » AVEC NAVAL GROUP & SAFRAN : prédire la tenue en service des systèmes aériens et navals

Pilotée par l'ENSTA Bretagne (Institut de Recherche Dupuy de Lôme), deux industriels majeurs et associant l'institut P, la chaire industrielle « Self Heating » a été retenue par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).

- Budget total : 2 050 000€, co-financé par l'ANR (50%), Naval Group et Safran (50%).
- Durée : 4 ans, à partir du 1er décembre 2020
- Équipe dédiée : 8 thèses et 4 post-doctorats, encadrés par 13 chercheurs
- Titre : caractérisation, modélisation et prévision rapide des propriétés à la fatigue polycyclique des matériaux à partir de mesures thermométriques
- Objectifs et méthode : mesurer la signature thermique des mécanismes d'endommagement des matériaux pour les applications navales et aériennes, afin de prévoir et déterminer de façon rapide les propriétés à la fatigue polycyclique de ces matériaux.

La méthode « self-heating » [auto échauffement] consiste à observer la courbe de température d'un matériau, soumis aux efforts répétés qui conduisent à son endommagement, dans des conditions expérimentales précises, afin d'en déduire la durée de vie et de prédire des points de fragilité. La rapidité d'étude et la précision des résultats constituent des points forts pour l'industrie.

- Les modèles numériques ainsi générés alimentent les codes de calcul des bureaux d'étude, afin de retarder et éviter les avaries dès la conception d'un navire, d'un sous-marin ou d'un avion.
- La volonté des groupes Safran et Naval Group est d'étendre cette approche scientifique à l'ensemble des matériaux utilisés dans leurs applications respectives et de s'intéresser aux paramètres jouant sur la fatigue de leurs matériaux (température, procédé de fabrication, nature du chargement, traitements de surface, etc.).

Un second bâtiment
de 1600 m²



Essais et mesures de durabilité d'assemblages collés (cf. focus)

ASSEMBLAGES MULTI-MATÉRIAUX

(PTR2)

#

assemblage # collage # soudage
 # frittage # fabrication additive
 # multi-matériaux

21 PERSONNELS
 dont 10 DOCTORANTS

17 PUBLICATIONS
 dans des revues
 à comité de lecture

AXES DE RECHERCHE

Le pôle thématique de recherche « Assemblages multi-matériaux » de l'IRDLe vise l'innovation dans les procédés d'assemblages, la caractérisation de leur tenue à long terme en environnements sévères et le développement de techniques hybrides.

- Étudier et optimiser les procédés d'assemblage, en assemblant des matériaux de différentes natures, munis de nouvelles préparations de surface.
- Instrumenter à cœur des assemblages (FGB, QRS, CIN...) et 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.

PROGRAMMES DE RECHERCHE

- Caractérisation thermique et mécanique d'assemblages multi-matériaux aluminium/acier pour automobiles : projet AM2 (caisse en blanc Automobile Multimatériaux Multi-procédés) ; financement BPI, PSA.
- Caractérisation et modélisation du comportement d'interfaces collées de forte épaisseur et/ou en présence d'adhésifs à fort allongement : projet COCOA (ThiCk BOnDED Joint under Complex LOAding) ; financement Institut Carnot ARTS, région Bretagne et département du Finistère.
- Développement d'un essai technologique en vue de valider la modélisation du comportement d'un adhésif sous sollicitation d'impact ; financement SAFRAN Composites. Développement d'un assemblage collé structurel multi-matériaux offrant une protection balistique ; financement DGA, avec 2CA.
- Modélisation analytique du flambement plastique de coques sous pression ; financement CETIM.
- Projet européen « RAMSSES » : étude des liaisons composite / acier. [cf. page 35]

1 THÈSE SOUTENUE EN 2020

- **Vincent DUMONT** [CIFRE Safran Reosc] : « Durabilité de collages verre-métal pour applications optiques en environnement thermique »
 Cette thèse s'applique à l'ELT (extremely large telescope), un télescope géant inédit qui prendra place au nord du Chili, à 3060 m d'altitude.

2 NOUVELLES THÈSES

- **Thomas FKYERAT** (bourses région Bretagne et Brest métropole) : « Optimisation, caractérisation et modélisation d'assemblages hybrides composites thermoplastiques métal »
- **Andreea Gabriela TINTATU** (contrat DGA, Thales) : « Modélisation simplifiée d'assemblages collés pour la caractérisation mécanique d'adhésifs et des interfaces colle-substrat et l'analyse de leur vieillissement. »

FOCUS

DURABILITÉ DES STRUCTURES MULTI-MATÉRIAUX COLLÉES POUR CAPTER LES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES

Ce projet ANR France Energies Marines INDUSCOL (2016-2020), associe ENSTA Bretagne, UBS, l'Université de Nantes et Naval Group.
 David Thévenet, pilote scientifique et technique du projet : "La durabilité en mer des structures EMR sur des périodes allant

jusqu'à 15 ans, demeure un enjeu majeur. La fabrication de ces structures repose sur des combinaisons de matériaux souvent assemblés par collage structural. L'étude a porté sur la tenue à long terme du joint de colle afin de favoriser l'introduction de structures multi-matériaux

innovantes. S'appuyant sur de nombreux résultats expérimentaux et une instrumentation du joint de colle par différents capteurs, des modèles numériques ont été développés pour prédire l'évolution de la résistance mécanique de l'assemblage collé dans le temps".

STRUCTURES, FLUIDES & INTERACTIONS

(PTR3)

AXES DE RECHERCHE

Les recherches portent sur les interactions fluide-structure, le comportement dynamique des matériaux et des structures et la détonique. Les applications concernent l'architecture navale, les énergies marines, la défense, l'aérospatial, ainsi que l'automobile et les procédés de fabrication.

- Hydrodynamique navale et étude de la réponse de structures en interaction avec des fluides.
- Caractérisation et modélisation de la réponse de matériaux et de structures, métalliques et composites, sous sollicitations dynamiques.
- Étude et modélisation des phénomènes d'impacts et d'explosions en milieux complexes.

PROGRAMMES DE RECHERCHE

HYDRODYNAMIQUE

- STADINAV : Analyse probabiliste du roulis non linéaire des navires soumis à une houle irrégulière [Financement AID, en collaboration avec l'Ecole navale]. Ce projet a pour but de développer de nouvelles méthodes pour prédire le risque de chavirement des navires.
- DIMPACT : Dimensionnement d'éoliennes flottantes prenant en compte les impacts et le déferlement de vagues [Financement ANR / France Energies Marines]
- OPTIFOIL : Optimisation paramétrique des foils ; application à la voile Olympique [Financement Instituts Carnot ARTS et MERS, avec l'Ecole navale et Ifremer]

PYROTECHNIE

- TRIBAL : Protections balistiques en composites transparents [Financement ANR ASTRID]
- Coopérations scientifiques avec Nobel Sport, Euroco, Livbag...

3 THÈSES SOUTENUES EN 2020

- **Pierre LEGRAND** [Cifre NECS] : « Mise en place d'une méthodologie pour la prédiction des effets des explosions sur infrastructures du génie civil ».
- **Yumna QURESHI** [avec HEC, Campus France] : « Développement d'un système de capteurs sensible et robuste pour surveiller la déformation des structures composites en temps réel. » [PTR 1 composites].
- **Corado NINGRE** [avec Univ. Alpes Grenoble] : « Modélisation du comportement élastoplastique cyclique multiaxial par une approche multisurface dans l'espace des déformations ».

4 NOUVELLES THÈSES

- **Mathieu GORON** [ONERA, Ifremer] : « Impacts hydrodynamiques obliques sur mer formée ».
- **Antoine POIROT** [Estaca] : « Développement et modélisations de structures fonctionnelles basées sur l'implémentation des mousses syntactiques piezorésistives. Application à la surveillance des structures sous choc ».
- **Agathe DE LA HOUGUE** [IFREMER/Ecole Navale] : « Optimisation paramétrique des foils / Application à la voile Olympique ».
- **Marion BRATEAU** [CIFRE CTAI] : « Modélisation des couplages multiphysiques lors d'un cycle balistique intérieur dans des munitions de nouvelles générations ».

FOCUS

SOLID SAIL 2.0, VOILE RIGIDE 100% COMPOSITE

Le paquebot de croisière à voile « SILENSEAS » [Chantiers de l'Atlantique] sera tracté par des voiles innovantes, rigides. Avec les futurs fabricants, les

chercheurs ont modélisé leur conception : ils ont conçu une chaîne de calculs tenant compte du comportement au vent et des performances de traction

attendues et l'ont testée sur un prototype à l'échelle 1:5°. Le programme « Jibsea » prend le relais en 2021.

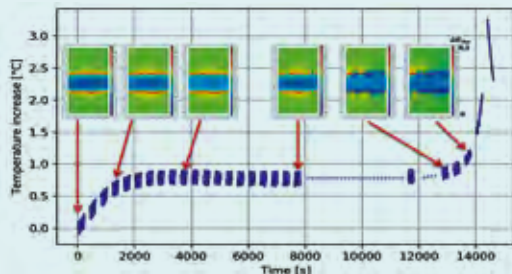
www.ensta-bretagne.fr/solid-sail-20-une-voile-rigide-100-composite

modélisation # simulation numérique # mécanique expérimentale # matériaux et structures # dynamique # chocs # impacts # interactions fluide-structure

47 PERSONNELS
dont 20 DOCTORANTS

35 PUBLICATIONS
dans des revues
à comité de lecture

+ 4 DOCTORANTS
rattachés au PTR1
Composites



Mesure de température lors de tests de fatigue sur assemblages soudés.



fatigue # vieillissement # tenue en fatigue # modélisation # essais

28 PERSONNELS
dont 19 DOCTORANTS

15 PUBLICATIONS
dans des revues
à comité de lecture

FOCUS

PRENDRE LA TEMPÉRATURE DES NAVIRES POUR PRÉVOIR LEUR DURÉE DE VIE

Depuis 15 ans, avec moins d'échantillons, moins de temps et plus de précision, les essais d'auto-échauffement accélèrent la connaissance du comportement en service des matériaux et des assemblages, pour les applications navales, terrestres et aériennes.

Loïc Carteron, doctorant : « Nous analysons les courbes de température de pièces, pour repérer les points de fragilité et éviter les

avaries dès la conception. Ces structures en acier complexes et imposantes, sont assemblées principalement par soudage. En mer, les soudures sont très souvent le point faible où s'amorcent les fissures. Le défi des ingénieurs consiste à concevoir les coques de navires en garantissant une durée de vie la plus longue possible. Nous fournissons ces modèles de prédiction.

Pour cela, des essais en laboratoire reproduisent les efforts subis en mer par les pièces : des efforts faibles mais répétés un très grand nombre de fois, qui génèrent une fatigue caractérisée par une hausse de température. Ces mesures d'auto-échauffement sont ensuite analysées et permettent de prédire la durée de vie en service. »

AXES DE RECHERCHE

Les recherches concernent le diagnostic, la mesure, la modélisation et la prévision de la santé des matériaux, des structures et des systèmes électromécaniques.

- Fatigue et auto-échauffement des matériaux et des structures (métaux, composites et matériaux organiques).
- Comportement et fatigue des matériaux actifs (matériaux piézo-électriques ou à mémoire de forme).
- Vieillissement thermique et marin des matériaux organiques.
- Comportement non-linéaire des matériaux hétérogènes. Tout en répondant à des questions scientifiques fondamentales, ces recherches appliquées sont conduites avec les industriels européens, de nombreux secteurs, en particulier l'automobile, l'aéronautique, l'énergie ou les fournisseurs de matériaux.

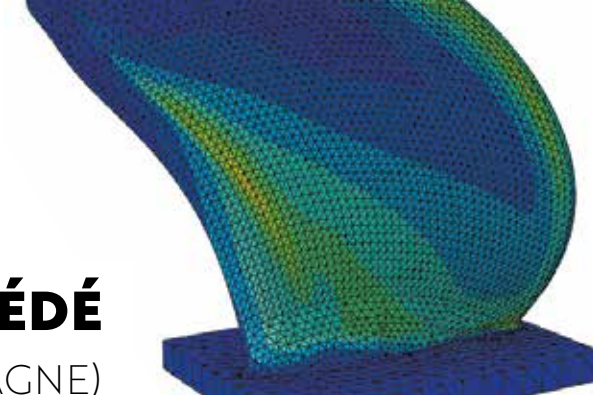
COMPORTEMENT ET DURABILITÉ DES MATÉRIAUX HÉTÉROGÈNES (PTR5)

5 THÈSES SOUTENUES EN 2020

- **Cédric BAIN** [CIFRE Inorope] : « Compréhension et modélisation des mécanismes de contact des câbles en Polyéthylène Ultra Haute Densité pour applications navales »
- **Loïc CARTERON** [CIFRE Naval Group] : « De l'apport des mesures de champs de température sous sollicitations cycliques pour la caractérisation et la modélisation des propriétés en fatigue des assemblages soudés »
- **Yoan CHEVILLOTE** (avec France Energies Marines et Ifremer) : « Caractérisation du comportement mécanique à long terme et durabilité de câbles d'ancrage en polyamide pour éoliennes flottantes (Energies Marines Renouvelables) »
- **Prashant SANTHARAM** [CIFRE Vibracoustic] : « Investigation thermomécanique pour le dimensionnement en fatigue des pièces thermoplastiques renforcées de fibres de verre courtes pour applications automobiles »
- **Vincent ROUE** [CIFRE Safran Aircraft Engines] : « Détermination rapide des propriétés en fatigue à grand nombre de cycles à partir d'essais d'auto-échauffement sous sollicitations cycliques : application aux alliages métalliques pour des turboréacteurs aéronautiques. »

6 NOUVELLES THÈSES

- **Vanessa KWIATKOWSKI** [CIFRE Safran Landing Systems, chaire « self-heating »] : « Fatigue de composites thermoplastique à fibres courtes pour applications aéronautiques sous sollicitations complexes de compression »
- **Ewann GAUTIER** [contrat AMERICO] : « Approche simplifiée pour le calcul de durée de vie en fatigue sous chargement cyclique complexe dans une zone de plasticité confinée »
- **Corentin GUELLEC** [CIFRE Naval Group] : « Durée de vie en fatigue à grand nombre de cycles des arbres de transmission pour applications navales »
- **Enora BELLEC** [CIFRE Groupe PSA, OpenLab "Computational Mechanics"] : « Spectres de chargement pour le dimensionnement mécanique d'un véhicule automobile »
- **Antoine LE PALABE** [bourse région, UBS] : « Contraintes résiduelles et fatigue des composites - Application au nautisme de compétition »
- **Laure CIVIER** [bourse FEM] : « Surveillance des lignes d'ancrage en polyamide pour éoliennes offshore. »



LABORATOIRE COMMUN GUSTAVE ZÉDÉ

(NAVAL GROUP, ENSTA BRETAGNE)

PROJET EUROPÉEN « RAMSSES » DE NAVIRE DU FUTUR

« RAMSSES » vise à améliorer la durée de vie des structures navales tout en réduisant leur empreinte environnementale. Cela passe par l'intégration de matériaux permettant l'allègement et l'amélioration des performances mécaniques des navires.

Les équipes mènent une recherche expérimentale et de modélisation sur des problématiques liées à la résistance et à la durabilité des matériaux utilisés dans l'industrie navale militaire.

- 36 partenaires de 12 pays
- 13,5 M€ de budget global sur 4 ans
- 13 axes de recherche, dont 2 sont portés par ENSTA Bretagne et Naval Group

UTILISATION DE COMPOSITES POUR LES SUPERSTRUCTURES

Associant également le Bureau Veritas, ce sujet a pour objectif d'alléger les parties situées au-dessus du pont du navire, en remplaçant les parois en acier par des parois composites. L'utilisation de nouveaux matériaux questionne sur **la résistance mécanique et la durabilité des assemblages mixtes composite/acier.**

Des éprouvettes en forme de T, représentatives d'une liaison pont/superstructures, composées d'une semelle en acier et d'un panneau en composite ont été réalisées par Naval Group. Différentes liaisons aciers/composites ont ainsi pu être testées à l'ENSTA Bretagne : rivetage, collage ou encore assemblage mixte.

▶ Vidéo : youtu.be/EjHatFx0BW4

HELICE CREUSE ISSUE DE FABRICATION ADDITIVE METALLIQUE

La fabrication additive pourrait remplacer les procédés actuels (fonderie) de production d'hélices marines. Une pale creuse issue de la fabrication additive métallique, produite par Naval Group et l'Ecole Centrale de Nantes, a été testée à l'ENSTA Bretagne.

Le procédé d'impression 3D métallique permet des géométries innovantes mais soulève aussi de nouvelles questions mécaniques. La surface brute complexe fait apparaître les couches de matière déposées et l'historique thermique de ces pièces induit également de nouvelles propriétés. Des essais et des modèles inédits sont donc nécessaires pour prendre en compte ces caractéristiques dans le dimensionnement de l'hélice.

▶ Vidéo : youtu.be/5FHejypT1SA

MODÉLISATIONS & ESSAIS

- Ces structures ont été modélisées, en tenant compte de la complexité des matériaux et des chargements cycliques répétés qu'elles subiront.
- Des essais ont ensuite été réalisés sur la plateforme multiaxiale*, en reproduisant les chargements réels. Les mesures au cœur des panneaux composites et les observations en surface de la pale ont révélé les zones et les conditions d'apparition des premiers défauts, validant la pertinence des modèles numériques de prévision, dont disposeront les industriels.

#

valorisation # transfert
modélisation # caractérisation
fatigue # matériaux # assemblages
fabrication additive # acier
composites # naval



LABCOM "GUSTAVE ZEDE"

- Créé en 2015 à l'ENSTA Bretagne, il s'appuie sur l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme (UMR CNRS).
- Ce dispositif conjoint de R&D permet de développer des outils innovants d'aide au dimensionnement des structures navales sous sollicitations extrêmes.
- Les recherches, expérimentales et de modélisation, visent la prévision de la tenue en fatigue.
- Différents programmes de recherche sont menés : FRAPAN, INCOLA, AMERICO, RAMSSES...

+ d'infos :
www.ensta-bretagne.fr/laboratoire-commun-gustave-zede

* La plateforme multiaxiale est unique en Europe. C'est l'un des plus impressionnants moyens expérimentaux qui composent l'imposante plateforme technologique MASMECA, située à l'ENSTA Bretagne. + d'infos : masmeca.ensta-bretagne.fr

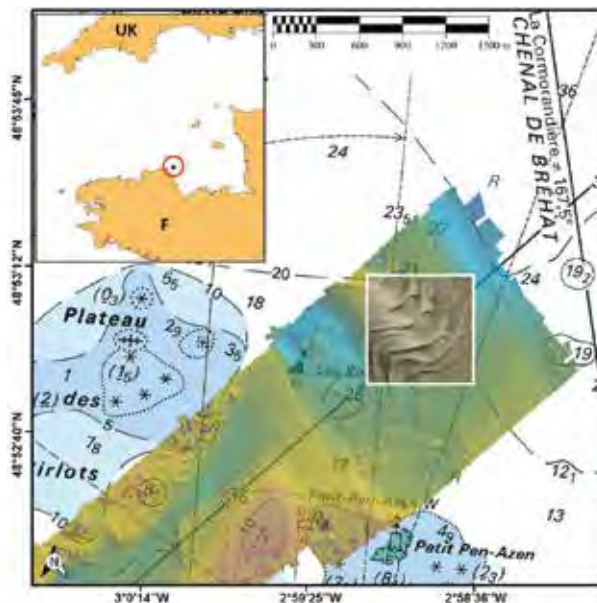
Laboratoire des Sciences
et Techniques de
l'Information, de
la Communication et
de la Connaissance
UMR CNRS 6285

LABORATOIRE LAB-STICC

FICHE D'IDENTITÉ

- Le Lab-STICC est un laboratoire d'excellence multidisciplinaire, créé en 2008.
- **Sous la cotutelle du CNRS et de 5 établissements bretons**, il fédère les équipes de recherche en sciences et technologies de l'information et de la communication de 3 écoles d'ingénieurs et 2 universités : **IMT Atlantique, ENSTA Bretagne, ENIB, UBO et UBS**.
- Unité mixte de recherche 6285 du CNRS, le laboratoire est rattaché à l'INS2I en tant qu'institut principal et à l'INSIS en tant qu'institut secondaire.
- **577** membres, dont 206 doctorants.
- Environ **500** publications /an.
-  www.labsticc.fr

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



PROJET SCIENTIFIQUE DU LAB-STICC

Du capteur à la connaissance :
communiquer et décider.

Pôle de recherche fondamentale et appliquée, en forte interaction avec son environnement socio-économique, le Lab-STICC regroupe de multiples compétences de très haut niveau sur les systèmes numériques et communicants. Son excellence et son importante production scientifique lui confèrent une solide visibilité internationale.

Le laboratoire est organisé en plusieurs équipes disciplinaires inter-établissements.

Des programmes transverses répondent à des défis sociétaux fortement interdisciplinaires, tels que :

- les dispositifs d'assistance aux personnes dépendantes.
- la cybersécurité et la cyberdéfense.
- le domaine STIC et Mer.
- les nouveaux modes de représentation et de traitement de l'information pour l'intelligence artificielle.
- les systèmes de drones.



75

PUBLICATIONS



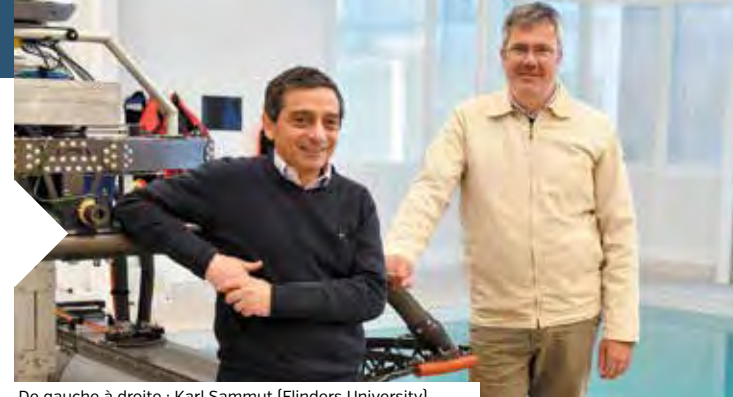
54

THÈSES ENCADRÉES



6,225 M€

DE CONTRATS
NOTIFIÉS



De gauche à droite : Karl Sammut (Flinders University) et Benoît Clément (ENSTA Bretagne & Flinders University)

TEMPS FORTS DE L'ANNÉE 2020

COLLABORATION FRUCTUEUSE AVEC L'AUSTRALIE

Benoît Clément, enseignant-chercheur en automatique à l'ENSTA Bretagne, est aussi devenu professeur associé de l'Université de Flinders, après un séjour de recherche de 8 mois dans cette université australienne.

Benoît, comment s'est présentée cette mobilité ?

« Tout commence par les visites des partenaires australiens à l'ENSTA Bretagne, en particulier celles de Tony Kiriakou et Karl Sammut de Flinders University. Karl et moi avons des parcours scientifiques très similaires et avons immédiatement identifié des sujets de recherche à développer ensemble.

En parallèle, j'ai conduit la construction d'un laboratoire commun entre l'ENSTA Bretagne, Naval Group et Flinders University, portant sur les navires autonomes. Avec l'enthousiasme général de ma famille, il ne restait plus qu'à mettre en œuvre la mobilité.

La DGA, la Région Bretagne et l'ENSTA Bretagne m'ont aidé à réaliser ce voyage sereinement. Du côté australien, Flinders University a mis à ma disposition de superbes outils de travail. L'aide de Tony et Karl a aussi été précieuse.

Quelles étaient tes activités à Flinders university ?

« Outre les façons de travailler très différentes que j'ai expérimentées en profondeur et que je pourrai partager avec nos étudiants, mon activité était dédiée à la recherche en robotique sous-marine. Celle-ci est menée conjointement avec des étudiants de Flinders qui sont venus en France, à l'ENSTA Bretagne (laboratoire Lab-STICC), dans le cadre des bourses Nicolas Baudin. À leur retour en Australie, nous avons pu continuer les recherches sur les outils de simulation pour la commande des systèmes autonomes marins. »

Que retiendras-tu ?

« Il n'a pas été facile de convaincre ma famille de ne pas rester en Australie !... Et scientifiquement, les fructueux échanges se poursuivent malgré la distance. Un mode d'organisation différent, une autre logique et façon de penser font aussi progresser les idées et la perception du monde. Ce séjour était totalement dédié à **mes recherches**, cela m'a permis de **progresser sur les liens qui existent entre l'automatique, le machine learning (IA) et l'optimisation**. De nouveaux sujets de recherche vont émerger avec Flinders University, en GNC (Guidage, Navigation et Contrôle), classification d'objets ou cybersécurité... »

ÉQUIPES SCIENTIFIQUES AUXQUELLES CONTRIBUE ENSTA BRETAGNE

Les équipes ENSTA Bretagne couvrent les 3 pôles scientifiques du Lab-STICC et contribuent à 6 des 11 équipes scientifiques et à 5 des 6 domaines transverses.

- TOMS :** Traitements, Observations et Méthodes Statistiques [équipe "MATRIX" à partir de 2021].
- PRASYS :** Perception, Robotics, Autonomous SYSTEMS [pôle "IA et Océan" et équipe "MATRIX" à partir de 2021].
- COM :** Communication digitale [équipe "SI3" à partir de 2021].
- MOCS :** Méthodes, Outils, Circuits et Systèmes [pôle "SHARP" à partir de 2021].
- PIM :** Propagation et Interactions Multi-échelle.

A partir de 2021, le Lab-STICC se réorganise en **6 nouveaux pôles, incluant 17 nouvelles équipes**.

PROJET "MÉDITERRANÉE"

Le 29 sept. 2020, le directeur de l'ENSTA Bretagne a signé une convention de partenariat avec la Fondation Van Allen (Université de Montpellier) en présence d'Annick Girardin, ministre de la Mer. Les travaux



de recherche portent sur l'amélioration des **modèles météorologiques de prévision d'épisodes cévenols** (fortes précipitations).

Pierre Bossier, enseignant-chercheur pilote du projet : « Une thèse a débuté en décembre 2020. Elle vise à améliorer les méthodes d'analyse des signaux GNSS (GPS, Galileo, Glonass) mesurés par des antennes embarquées en mer ».

Création du Groupement d'Intérêt Scientifique CORMORANT* par Thales et les partenaires académiques de Bretagne occidentale.

9 décembre 2020

C'est le 2^e GIS créé par Thales en France.

Ce dispositif régional unique, à portée nationale et internationale, vise une coopération forte entre tous les acteurs de la recherche de l'ouest breton pour accélérer l'innovation dans 3 domaines :

- capteurs et traitements intelligents
- interaction homme-système et facteurs humains
- l'autonomie des systèmes maritimes

Les chercheurs du CNRS, de l'ENSTA Bretagne, d'IMT Atlantique, de l'ENIB, de l'UBO, de l'UBS (qui forment le laboratoire Lab-STICC) avec ceux de l'École navale, de l'ISEN et de Thales constituent un pôle d'expertise de rang mondial pour des programmes de drones marins ou de guerre électronique. Les coopérations internationales à la clé sont fortement tournées vers l'Asie et l'Australie.

Laboratoire commun "SENI" avec Naval Group sur les systèmes Embarqués Navals Intelligents.

Les travaux engagés concernent les systèmes d'acquisition d'informations sur l'environnement ou le fonctionnement d'un bâtiment, ainsi que la mise en œuvre des processus de décision et d'action à bord.

La chaire de Cyberdéfense des systèmes navals

Soutenue par la Marine Nationale, la région Bretagne et le Pôle d'excellence cyber, la chaire cible la protection des équipements numériques et la détection des attaques cyber dans les systèmes maritimes. 10 thèses sont menées, pilotées par les 5 partenaires (École navale, IMT Atlantique, Naval Group, Thales, et ENSTA Bretagne).

* CORMORANT pour "Collaboration for Research regarding Maritime technologies, for Observation, security, and surveillance with Thales"

TRAITEMENTS, OBSERVATIONS ET MÉTHODES STATISTIQUES

Image SAR du détroit de Messine, prise le 26 octobre 1995 par le satellite ERS-1 (ESA)

#

environnement marin # imagerie radar (SAR/ISAR) # bioacoustique sous-marine # acoustique passive # machine learning # apprentissage profond # data science # big data # reconnaissance de cibles # fusion # aide à la décision

10 ARTICLES
 dans des actes
 de conférences
 internationales

17 PERSONNELS
 dont 10 DOCTORANTS

10 PUBLICATIONS
 et 10 articles en
 conférences
 internationales

APPLICATIONS

La bioacoustique sous-marine, l'étude des environnements et la défense (acoustique sous-marine et radar).

AXES DE RECHERCHE

Cette équipe du Lab-STICC contribue sur des aspects méthodologiques et pratiques au traitement statistique du signal et des images, dans un contexte sous-marin et aérien.

- Développement de méthodes d'estimation, de détection statistiques et de représentation des signaux (acoustiques et électromagnétiques).
- Monitoring de l'environnement sous-marin : localisation de sources acoustiques, caractérisation du milieu, de la nature et de l'évolution des fonds, détection et reconnaissances d'objets, bathymétrie, étude de ressources halieutiques.
- 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 (pollutions...).

FOCUS

FLUCTUATIONS OCÉANIQUES

L'océan est le théâtre de nombreux phénomènes physiques aléatoires et d'origine méconnue, pouvant altérer la façon dont l'onde acoustique s'y propage et mettre en échec les approches classiques de localisation de sources acoustiques. L'ENSTA Bretagne et DGA Techniques Navales développent de nouveaux traitements ro-

bustes à ces fluctuations, exigeant d'aller de la description des phénomènes océanographiques à la maîtrise d'outils algorithmiques probabilistes, en passant par la modélisation de la propagation acoustique en milieu aléatoire. Le Shom et Thales rejoignent ces recherches, en co-encadrant une thèse à partir de janvier 2021.

PROGRAMMES DE RECHERCHE

> EN TRAITEMENT DU SIGNAL ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

- Apprentissage profond et observation de l'environnement marin : détection et reconnaissance d'objets multiples sur fonds variables par apprentissage profond (avec IRISA, UBO, UMR AMURE, MBDA) ; apprentissage profond probabiliste guidé par la physique pour l'acoustique sous-marine (financements DGA/AID).
- Drones et traitement du signal : analyse numérique de signaux de drones (FEDER).
- Traitement de données acoustiques en vue de la caractérisation de l'environnement marin ; étude des grandeurs physiques pertinentes pour l'apprentissage automatique en acoustique sous-marine et environnement fluctuant (financements DGA/AID).

> EN BIO-ACOUSTIQUE ET ÉTUDE DE L'ENVIRONNEMENT

- Contrat avec l'agence de la biodiversité pour le suivi par acoustique passive des cétacés dans le second volet de la DCSMM (directive cadre stratégique pour le milieu marin établie par les membres de l'Union européenne).
- OSMOSE (open science meets ocean sounds explorer) : projet collaboratif en acoustique sous-marine pour l'observation des océans (avec IMT Atlantique, IUEM, Woods Hole Oceanographic Institution).

4 THÈSES SOUTENUES EN 2020

- **Guillaume BEAUMONT** [contrat DGA] : « *Traitements correctifs des effets de décohérence induits par les fluctuations du milieu de propagation* ».
- **Maëlle TORTEROTOT** [bourse région] : « *Traitement et analyse de signaux bioacoustiques dans l'océan indien austral* ».
- **Paul NGUYEN HONG DUC** [bourse DGA] : « *Development of artificial intelligence methods for marine mammal detection and classification of underwater sounds in a weak supervision [but] Big Data-Expert context* ».
- **Antoine D'ACREMONT** [CIFRE MBDA] : « *Reconnaissance et identification de cibles en imagerie infrarouge par apprentissage profond* ».

PERCEPTION, ROBOTIQUE ET SYSTÈMES AUTONOMES



Drones d'observation marin et sous-marin pour la cartographie autonome du lac de Guerlédan.

AXES DE RECHERCHE

Un système autonome de perception doit simultanément analyser les données acquises sur son environnement proche et organiser de façon autonome sa mission, en termes de pilotage et de navigation. L'interaction robot-environnement se fait via les capteurs.

> AXE 1 « ACTION AUTONOME »

En utilisant les résultats de la perception, le système doit raisonner sur les actions à conduire pour réaliser sa mission selon certains critères comme l'efficacité, la sécurité, la rapidité ou encore la consommation énergétique.

> AXE 2 « PERCEPTION AUTONOME »

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.

PROGRAMMES DE RECHERCHE

CONNAISSANCE ET DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT MARIN

- Projets menés avec le Shom : améliorer la connaissance de la mesure des courants de surface par radar HF ; modéliser la bathymétrie par inversion radiative d'images multispectrales ; étude et simulation de navigation précise des AUV en hydrographie (Navidro).
- Projets DGA : projet Rapid sur la navigation autonome par reconnaissance visuelle et acoustique pour la relocalisation (NARVAL) ; transformation de drones sous-marins existants en objets connectés aptes à conduire sur une grande échelle des missions d'observation et d'évaluation du milieu subaquatique (PROTEUS).

OCÉAN ET ATMOSPHÈRE

- Projet financé par l'INSU (CNRS) dans le cadre du programme Océan-Atmosphère et l'étude "Les enveloppes fluides et l'environnement" (LEFE) : l'équipe a lancé le projet "GEMMOC" sur le GNSS Embarqué en Mer pour la Météorologie et la Climatologie.

1 THÈSE SOUTENUE EN 2020

- **Charles COQUET** [CIFRE Thales] : « Recherche multi-agents d'une source par mesure d'une grandeur scalaire associée ».

2 NOUVELLES THÈSES

- **Nathan FOURNIOL** [région et Thales] : « Communication avec relais intermédiaires navals autonomes (CORINA) ».
- **Mohamed Ali GHANNAMI** [en co-tutelle avec l'Univ. Laval à Québec, bourse IFQM/région Bretagne] : « Inférence statistique de la hauteur de la colonne d'eau par analyse radiométrique et géométrique d'images spectrales ».

FOCUS

UNE EXPERTISE UNIQUE EN ROBOTIQUE SOUS-MARINE

Depuis septembre 2020, Simon Rohou, enseignant-chercheur en robotique autonome, anime l'axe « Robotique marine et sous-marine » du Groupe de Recherche [GdR] Robotique, créé par le CNRS : « Le but est de développer les échanges entre les acteurs du domaine et de stimuler les collaborations dans la communauté française. Les thématiques sont très variées, telles que l'exploration de lacs souterrains, le développement de robots serpentiformes inspirés du vivant, la recherche d'épaves, ou encore la collaboration de planeurs sous-marins et la cartographie des fonds marins. » L'ENSTA Bretagne s'inté-

resse aux défis de la robotique sous-marine, mobile et autonome : la localisation, le contrôle, la coordination des robots sont des enjeux particulièrement complexes à relever en environnement marin [pas/peu de visibilité, pas de GPS pour se positionner...]. L'équipe conçoit ces robots et crée leur intelligence embarquée grâce aux compétences pluridisciplinaires qui sont toutes réunies sur le campus : physique de l'environnement marin, capteurs, conception de plateformes mobiles, programmation, algorithmes de localisation et de commande.



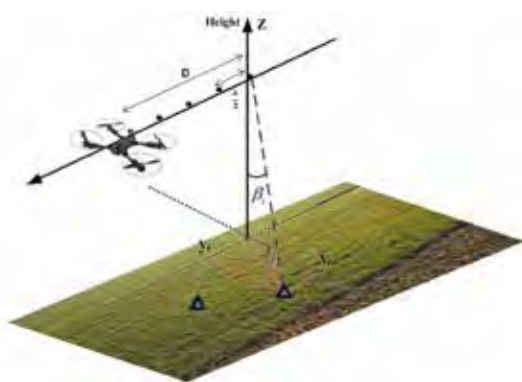
robotique mobile
système autonome # localisation
perception # contrôle

29 PERSONNELS
dont 14 DOCTORANTS

10 PUBLICATIONS
2 chapitres d'ouvrage
et 9 communications
en conférence

APPLICATIONS

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



- # séparation aveugle de sources
- # statistiques d'ordres supérieures
- # traitement du signal # robotique
- # télécommunications
- # guerre électronique
- # radio cognitive # biomédical

20 PERSONNELS
dont 12 DOCTORANTS

9 PUBLICATIONS
dans des revues
à comité de lecture
et 1 communication en
conférence

APPLICATIONS

Télécommunications, guerre électronique, robotique, systèmes embarqués, internet des objets, biomédical...

COMMUNICATION NUMÉRIQUE

AXES DE RECHERCHE

L'équipe s'intéresse aux méthodes statistiques et aux algorithmes de traitement de signal, en se focalisant sur les systèmes d'antenne et la miniaturisation des circuits électroniques.

FOCUS

LIAISON ET INTERACTIONS AIR-SOL POUR DES AÉRONEFS EN ALTITUDE FAIBLE

› Projet AID

Il s'agit de modéliser les interactions électromagnétiques entre une station au sol et un aéronef (avion ou drone) volant en basse altitude en prenant en compte le relief et plus généralement les irrégularités du sol pour différents contextes (montagnes, zones boisées, milieux urbains, etc.). Cette modélisation doit permettre d'évaluer la qualité de la communication air-sol sur des systèmes aéronautiques en phase d'atterrissage ou de décollage ou en opération à longue distance.

4 THÈSES SOUTENUES EN 2020

- **Mahmoud AL MASRI** [bourse du Liban, avec l'UL : Université Libanaise] : « *Théorie des jeux pour les communications militaires tactiques* ».
- **Jean-Marie KADJO** [bourse de Côte d'Ivoire] : « *Analyse Spectrale et Temporelle des Signaux de Communications Numériques et Applications en Radio Cognitive* ».
- **Michel Ghattas AKKAD** [bourse du Liban, université de Balamand] : « *Optimisation et implémentation des algorithmes de formation des voies sur des systèmes embarqués* ».
- **Mme Moawad AZZA** [AAMSET, Egypte] : « *Approches renforcées de la détection du spectre dans le contexte de la radio cognitive* ».

PROGRAMMES DE RECHERCHE

› TÉLÉCOMMUNICATIONS

- En estimant les caractéristiques du canal de transmission pour mieux transmettre et protéger l'information.
- Théorie des jeux pour développer des protocoles pour une radio cognitive tactique.
- Smart Antenna & Beamforming (Formation de voies) : l'antenne doit s'adapter automatiquement à son environnement.
- Internet des objets et problèmes de réseaux sans fil liés à la coexistence des communications machine-to-machine (M2M) et human-to-human (H2H).

› APPLICATIONS MÉDICALES

(avec l'hôpital des armées et le CHRU de 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).
- 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 ; réaliser un capteur ECG sans fil et un simulateur pour la faculté de médecine.

2 NOUVELLES THÈSES

- **Aurélien OLIVIER** [CHRU de Brest, ENSTA Bretagne] : « *Deep learning et méthodes pour la caractérisation d'une thrombose veineuse profonde par échographie et élastographie* ».
- **David ABEZA** [ENSTA Bretagne, Ecole Navale] : « *Renforcement de la sécurité de la couche physique d'un réseau sans fil par traitement avancé des signaux* ».

MÉTHODES, OUTILS, CIRCUITS ET SYSTÈMES

AXES DE RECHERCHE

Villes intelligentes et maisons connectées, e-santé, défense, industrie du futur, systèmes navals autonomes...

L'équipe étudie les systèmes embarqués sous l'angle de leur sécurité, sûreté de fonctionnement, performances et consommation énergétique, et ce, à de multiples niveaux :

- logiciel : fédération de modèles hétérogènes, techniques de vérification formelle ;
- matériel : sécurisation du flot de compilation de circuits, virtualisation d'architectures reconfigurables pour la conception de systèmes sur puce (SoC) pérennes, gestion de la variabilité ;
- transverse : gestion des données, stockage de l'application, support matériel pour garantir la qualité de service.

PROGRAMMES DE RECHERCHE

- Exécution et vérification formelle de modèles de systèmes de systèmes suivant la norme NAF de l'OTAN (RAPID "VeriMoB" avec PragmaDEV et l'AID).
- Sécurisation d'architectures et sûreté de fonctionnement : "JoinSafeCyber" (avec ENSTA Paris et l'AID) ; méthodologie et système de tests pour véhicules connectés ("KER-SEVECO", avec KEREVAL, Mobility Tech Green et région Bretagne) ; sécurisation d'architectures Overlay pour un maintien long en condition opérationnelle de circuits numériques (avec l'AID).
- Sécurité logicielle et système par contrat (avec l'AID).
- Stockage et gestion de données massives : "DataMeSS" (avec le CEA) sur les infrastructures de stockage hétérogènes ; "IRT SUPRA" (avec l'IRT b-com) sur l'utilisation efficace de ressources de calculs hétérogènes dans le "Cloud".

1 SOUTENANCE DE THÈSE EN 2020

- **Valentin BESNARD** (contrat CIFRE Davidson Consulting, avec ESEO) : « *Unification de l'analyse et de l'exécution embarquée avec un interpréteur de modèles pilotable* ». Principaux résultats : la formalisation mathématique du cadre logiciel, la réalisation d'un interpréteur de modèles UML "bare-metal" et l'évaluation sur de nombreux cas d'études (automobile, ferroviaire, aéronautique, robotique).

4 NOUVELLES THÈSES

- **Quentin DUCASSE** (Brest, Pôle d'Excellence Cyber) : « *Déploiement matériels logiciels de machines virtuelles sécurisées : Plateforme Manycore Risc-V Hétérogène pour l'IoT* ».
- **Matthias PASQUIER** (CIFRE ERTOSGENER, avec ESEO) : « *Considération explicite d'un système d'exploitation embarqué dans un processus de certification de cybersécurité* ».
- **Luis THOMAS** (avec le CEA) : « *Optimisation du placement de données dans des systèmes de stockage HPC via des mécanismes d'apprentissage automatique* ».
- **Hiba HNAINI** : « *Vers un cadre unificateur pour la spécification, formalisation et l'analyse d'architectures matérielles et logicielles sécurisées* » (projet IFS2ALP).

FOCUS

STOCKAGE ET GESTION DES DONNÉES

Un empiement de CD couvrant une distance équivalente à 5 allers-retours de la terre à la lune... c'est la quantité de données censées être stockées dans le monde d'ici 2025 ! Il s'agit de rendre le stockage performant, sûr et énergétiquement efficace : définir des stratégies de placement (projet "DataMess"), les mécanismes de supervision (projet "IDIOM"), etc.

LE CYBER MARITIME

Les expertises de l'équipe en informatique et électronique sont multiples pour adresser le champ de la cyber sécurité. Elles bénéficient de nombreuses infrastructures de pointe, acquises grâce au projet CPER "Cyber-SSI". Elles répondent en particulier aux défis de France Cyber Maritime, filière d'excellence française créée fin 2020, pour contribuer à un monde maritime numérique plus sûr.

Joliot
Curie

Super calculateur TGCC Joliot-Curie établi au CEA



#sûreté #sécurité #systèmes embarqués #conception système #virtualisation de circuit #fédération de modèles #vérification formelle #stockage #Cloud #big_data

20 PERSONNELS
dont 11 DOCTORANTS

19 ARTICLES
dans des publications
et conférences
internationales

PROPAGATION ET INTERACTIONS MULTI-ÉCHELLES

AXES DE RECHERCHE

Ces recherches visent à intégrer davantage d'intelligence artificielle 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.

L'équipe axe ses recherches sur le développement et l'amélioration 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.

- 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...).

FOCUS

CARACTÉRISER LES VENTS MARINS À L'AIDE D'IMAGERIE SATELLITE

Projet CEPAMOCS : Caractérisation et Extraction de Paramètres d'une surface de Mer hétérogène Observée par différents Capteurs Satellites.

Financement : AID, DGA, EGS. Les estimations à haute résolution de la vitesse et de la direction du vent à partir d'images radar à synthèse d'ouverture (SAR) sont essentielles pour caractériser un environnement marin dans les zones offshore ou côtières. Dans ce projet, plusieurs méthodes sont passées en revue. De plus, concernant l'estimation de la direction du vent, un moyen d'améliorer la méthode spectrale avec la transformée de

Radon est proposé. L'un des objectifs est de déterminer la méthode qui fournit les meilleurs résultats, en particulier lorsque la grille de résolution est plus fine. La précision, la fidélité et l'incertitude des méthodes sont comparées à travers une étude de simulation et d'évaluation avec des données Radar SAT2 (dans la zone côtière) et une autre avec des données Sentinel-1 (dans la zone offshore).

PROGRAMMES DE RECHERCHE

- **e-PANEMA** (cf. photos) : e-Positioning et Aide à la Navigation en Environnement Maritime (financement : Ademe ; avec SAFRAN, Diades Marine, ENSM).
- SLERECIM : l'apport de SFG et LFG dans l'Estimation de la Reflectivité de Cibles complexes en Mer (financement : DGA, AID, OAR).
- DOREDO : Détection d'Obstacles par Radar Embarqué sur Drone » (financement : DGA ; avec CESTIM, CNAM Paris).
- TAPERE : Techniques d'Apprentissages Profonds évolutifs pour la détection et la Reconnaissance de cibles à partir de données hétérogènes (financement : DGA, AID, I2R).
- CASSIOWPE : Caractérisation des interactions entre l'atmosphère et la surface de la mer pour le déploiement de l'éolien offshore dans le Golf du Lion (2020 - 2023, France Energie Marine, 15 partenaires nationaux et internationaux).

2 THÈSES SOUTENUES EN 2020

- **Ngoc TAN TRUONG** (bourse e-PANEMA, ADEME, avec SAFRAN, DIADES Marine et ENSM) : « Hybridation multi-sources pour améliorer les fonctions de détection, pistage, localisation et positionnement dans des environnements difficiles ».
- **Antoine FOUCAULT** [CIFRE Thales] : « Détection des émetteurs à faible puissance d'émission ou radar LPI ».

1 NOUVELLE THÈSE

- **Aurélié PANETIER** (région, ENSTA Bretagne, fondation Van Allen) : « GNSS embarqué en pleine mer pour la météorologie et la climatologie : développement de méthodes d'analyse de données GNSS acquises par des antennes embarquées en pleine mer pour l'amélioration de la trajectographie et de la caractérisation de la vapeur d'eau atmosphérique (projet Méditerranée) ».

APPLICATIONS

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



Campagne de mesures pour le projet e-PANEMA



capteurs # radar # GNSS # GE
 # canal de propagation # fouillis
 # modélisation électromagnétique
 # signature de cibles
 # environnement # télédétection
 # inversion # expérimentation

13 PERSONNELS
 dont 5 DOCTORANTS

15 PUBLICATIONS
 dans des revues
 à comité de lecture
 et conférences
 internationales

+ 2 DOCTORANTS
 rattachés à l'équipe
 "Dispositifs et interfaces
 multiphysiques"

MOYENS D'ESSAIS EN STIC ET MÉCANIQUE

Bilan du CPER 2015-2020

Le contrat de plan Etat-région (CPER) qui s'est achevé aura permis une progression significative des équipements de recherche dans les projets stratégiques retenus.

PROJET « CYBER SSI »

Sécurité des systèmes physiques et logiciels.

Les recherches en cybersécurité de l'ENSTA Bretagne adressent principalement la chaîne analogique (antennes et filtres pour communication sécurisée), les supports de calculs (puces électroniques), et le développement d'outils logiciels (conception de systèmes sécurisés, synthèse d'applications garantissant le respect de la propriété intellectuelle, analyse par méthodes de validation formelle).

Montant total : 2 M€

Principales acquisitions :

- Calculateur, serveur de virtualisation
- Emulateur matériel, accélérateurs matériels
- Plateforme SCADA (système d'acquisition et de contrôle de données)
- Banc radio fréquence
- Drones

« SMD-MAR »

Observation de l'environnement marin à l'aide de robots autonomes. Ces équipements permettent de concevoir et expérimenter des groupes de drones autonomes, multi-milieux (marins, sous-marins et aériens) pour l'exploration et la surveillance de l'environnement marin, avec précision et de manière répétée. Les défis scientifiques englobent : propulsion, navigation, acquisition et traitement de l'information, capteurs, intelligence embarquée, autonomie, ...

Montant total : 865 k€

Principales acquisitions :

- Capteurs acoustiques
- Tour numérique pour du prototypage rapide
- Drones et plateformes robotiques multi-milieux
- Station mobile de contrôle commande

« SOPHIE »

Systèmes d'acquisition hyperfréquence pour caractériser l'environnement maritime dans différentes conditions

Montant total : 46 K€

Principales acquisitions :

- Matériels pour la réalisation du système d'acquisition (modules up/down converter et antennes large bande).

« I-ROMI »

Conception de nouveaux observatoires sous-marins par acoustique passive, pour le suivi et l'analyse du bruit ambiant (phénomènes géologiques, faune et activité humaines).

Montant total : 690 K€

Principales acquisitions :

- Enregistreurs multivoies pour localiser les mammifères marins et les navires
- Enregistreurs monovoies pour le suivi à long terme et en continu des bruits
- Détecteurs de clicks pour le suivi de l'écholocation des petits cétacés.
- Hydrophones portables
- Serveur de calcul

"ECO-SYS-MER"

L'ambition est d'amplifier la fiabilité des systèmes mécaniques marins, à l'échelle du matériau et à celle du système.

Montant total : 2,075 M€

Principales acquisitions :

- Machine de traction/compression électromécanique
- Machine de fatigue traction/compression électrodynamique
- Microscope électronique à balayage
- Diffractomètre des rayons X (DRX)
- Micro-nano-tribo-indenteur
- Caméras (une infrarouge, deux rapides)
- Equipements d'analyse physico-chimique (DSC, DVS)...

5 projets de recherche stratégiques représentent 5,6 M€ d'équipements nouveaux de 2015 à 2020 (financés par le CPER¹), soit 460 k€ d'investissements pour l'année 2020.

2 CENTRES DE RESSOURCES



La plate-forme technologique MASMECA en sciences mécaniques (laboratoire IRDL)

Elle occupe 1200 m² du centre de recherche ENSTA Bretagne. Ses nombreux moyens expérimentaux visent à caractériser, à plusieurs échelles, les propriétés mécaniques de tous types de matériaux, assemblages et structures, étudiés par le laboratoire IRDL.

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

+ d'infos : masmeca.ensta-bretagne.fr

▶ www.ensta-bretagne.fr/plate-forme-technologique-masmeca-0

Le centre de ressources ENSTA Bretagne en technologies de l'information

dispose également d'équipements expérimentaux conséquents :

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

+ d'infos : www.ensta-bretagne.fr/

¹ CPER : Contrat de Plan État-Région

Formation
et Apprentissages
Professionnels
UR 7529

LABORATOIRE

FoAP / SCIENCES HUMAINES
ET SOCIALES

109 MEMBRES,
DONT 45 DOCTORANTS,
47 membres permanents
et 17 chercheurs associés.

DONT **10** CHERCHEURS
ET **16** DOCTORANTS
dans l'équipe Formation
et Professionnalisation
des Ingénieurs (FPI)

19 PUBLICATIONS
et chapitres d'ouvrages

FICHE D'IDENTITÉ

- Créé le 1^{er} janvier 2019, FoAP a succédé au CRF [Centre de Recherche sur la Formation]
- Il fédère les équipes de sciences de l'éducation et de la formation de l'ENSTA Bretagne, du Cnam Paris et d'AgroSup Dijon.
- Sous statut Équipe d'Accueil : EA 7529
- La gouvernance est collégiale. Denis Lemaître, professeur à l'ENSTA Bretagne, en est le directeur.

●  foap.cnam.fr



PROJET SCIENTIFIQUE DE FOAP

Multi tutelles et inter-régional, FoAP est le seul laboratoire dédié à la formation professionnelle et la formation des adultes en France, et anime ainsi un réseau de chercheurs sur les questions de la formation au sens large : formation professionnelle initiale, enseignement supérieur, formation tout au long de la vie, apprentissages dans l'activité, parcours personnels et professionnels.

A l'ENSTA Bretagne, l'équipe de recherche Formation et Professionnalisation des ingénieurs (FPI) se consacre plus particulièrement aux ingénieurs, notamment sous l'angle de la formation à l'innovation responsable et au développement durable.

Historiquement, le ministère des armées et le ministère de l'agriculture et de l'alimentation ont une importante activité de formation professionnelle initiale et continue. Les équipes des trois établissements partagent la même culture de formation professionnelle, à haut niveau d'expertise, dans des domaines très variés : santé, ingénierie, agronomie, travail social, etc.

Trois axes thématiques :

- Conception de formations, circulation des savoirs et compétences des apprenants,
- Curriculum et dynamiques identitaires,
- Espaces d'action et apprentissages professionnels.

CONTACTS

Linda GARDELLE

Enseignante chercheure, responsable
du département Sciences Humaines
et Sociales, responsable de l'équipe FPI
linda.gardelle@ensta-bretagne.fr
T. +33 (0)2 98 34 89 05

Denis LEMAITRE

Enseignant chercheur,
directeur du laboratoire FoAP
denis.lemaitre@ensta-bretagne.fr
T. +33 (0)2 98 34 88 65

TEMPS FORTS DE L'ANNÉE 2020

FORMATION ET PROFESSIONNALISATION DES INGÉNIEURS (ÉQUIPE FPI)

Projet RIIME

« Recherche sur les Ingénieurs et la formation à l'Innovation au Maghreb face aux enjeux Environnementaux » (RIIME) est un projet financé par le ministère français des Affaires étrangères (PHC Maghreb), le ministère algérien de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, le ministère marocain de la Recherche et de l'Enseignement supérieur et le ministère tunisien de la Recherche et de l'Enseignement supérieur. Ce projet qui comprend 7 thèses, porte sur le Maghreb. Les questions soulevées se posent aussi en France et en Europe. Comment améliorer la contribution des formations scientifiques et techniques à la formation d'innovateurs responsables, conscients des grands enjeux contemporains ? Cela dans un contexte de relations complexes entre les besoins du terrain (entreprises, société), l'influence très forte des référentiels internationaux qui étendent leur influence et se concurrencent, et les importants défis environnementaux.

Les mobilités et les enquêtes prévues en 2020 ont été perturbées par les différents confinements mais 2 thèses ont été soutenues. Le projet va être finalisé en 2021.

1 THÈSE SOUTENUE EN 2020

• **Imane ZERGOUT** (projet RIIME, co-encadrement avec l'université Hassan 2 à Casablanca) « formation des ingénieurs à l'innovation ».

Elle propose une démarche d'amélioration continue pour mieux former à l'innovation les futurs ingénieurs marocains. Le Maroc connaît un fort dynamisme socio-économique, avec de grands projets de développement très

ouverts sur l'ensemble de l'Afrique et de stimulantes réflexions dans l'enseignement supérieur. Les écoles d'ingénieurs cherchent à s'adapter pour pouvoir répondre aux défis de ce développement et visent à former des ingénieurs porteurs d'innovations.

La particularité de la thèse d'Imane Zergout réside dans sa pluridisciplinarité. Imane Zergout a mobilisé le génie industriel, l'ingénierie de l'innovation et les sciences de l'éducation. Cela a été possible grâce au co-encadrement mis en place : la thèse était dirigée par Souad Ajana et Soumia Bakkali, professeures en génie mécanique à l'ENSEM Casablanca (équipe de Recherche sur la Formation en Sciences de l'ingénieur) et encadrée par Catherine Adam, chercheuse en sciences de l'éducation à l'ENSTA Bretagne (laboratoire FoAP).

Projet A-STEP2030

Le projet ERASMUS+ « *Attracting diverse Talent to the Engineering Professions of 2030* » réunit des institutions d'enseignement supérieur soutenant l'innovation pour la formation d'ingénieurs responsables, capables de répondre aux défis sociétaux du développement durable. Plus de 50 chercheurs et enseignants de 6 pays européens sont mobilisés pour 3 ans de travaux collectifs de recherche. Le consortium du projet comprend 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) et BEST (Board of European Students of Technology) de Belgique. Le projet est coordonné par l'ENSTA Bretagne, sous la responsabilité de Klara Kövesi.

En 2020, deux études européennes ont été réalisées : une enquête quantitative questionnant les élèves d'ingénieurs au niveau européen sur leur perception des formations reçues dans leurs institutions ; une étude qualitative auprès des enseignants de 12 écoles d'ingénieurs européennes sur la pédagogie qu'ils mettent en œuvre pour former leurs étudiants sur le développement durable.

Les résultats ont pu être partagés dans trois workshops européens, un symposium dans le cadre de la conférence SEFI 2020, quatre communications et cinq webinaires pan-européens en ligne.

Il a été mis en avant le besoin de repenser les formations pour former de futurs ingénieurs qui disposent de toutes les compétences nécessaires pour résoudre les défis de développement durable. Le projet A-STEP2030 vise à proposer des méthodes pédagogiques innovantes bien adaptées à ces objectifs.

+ d'infos : www.astept2030.eu/en

Projet « L codent L créent »

Ce projet est à la fois un dispositif de formation et un projet de recherche. Les études d'ingénierie se féminisent [27 % de filles en moyenne en 2016/2017 contre 19,9 % en 1990/1991], mais cette évolution ne s'opère pas de manière homogène selon les domaines. Les recherches accréditent l'idée que les images et perceptions du numérique constituent le principal élément explicatif à ce repli. Des ateliers de programmation à destination de collégiennes de 6 établissements de la région de Brest (dont 3 en réseau d'éducation prioritaire), animés exclusivement par des étudiantes en licence et école d'ingénieur, ont été mis en place

EQUIPE "FPI"

PROJET SCIENTIFIQUE

Interroger le métier d'ingénieur et sa formation.

L'équipe étudie le rapport entre le social et la technique, du point de vue des identités, des savoirs, des organisations et des apprentissages. Elle intègre les dynamiques socioculturelles depuis le niveau micro (ex. : l'individu face au système technique) jusqu'au niveau macro (ex. : évolution mondiale des systèmes de formation des ingénieurs).

Former des innovateurs responsables, préparés à agir pour le développement durable

Les différents projets de recherche en cours portent sur la formation des ingénieurs à l'innovation responsable. L'équipe travaille au développement d'une approche sociotechnique des problèmes, qui associe les composantes techniques, économiques, juridiques, humaines, sociales, environnementales, politiques, éthiques...

et ambitionnent de faire évoluer cette représentation. Dans une perspective de sociologie des acteurs-atrices, ce projet s'attache à rendre compte de la manière dont les personnes impliquées dans le dispositif donnent sens à leur engagement et à leurs actions. Des enquêtes ont été menées et ont commencé à faire l'objet de publications.

> + d'infos : ensta-bretagne.fr/fr/l-codent-l-creent

1/3
des projets
d'application
visent la réduction
de l'empreinte
environnementale

ENSTA Bretagne
crée 4 nouvelles
"Cordées de la réussite"
avec des lycées
et des collèges
du Finistère.

ENSTA Bretagne
participe aux réflexions
des Responsables
DDRS de la Conférence
des Grandes Écoles.

L'école a répondu en
septembre 2020 au
Grand Baromètre
du mouvement étudiant
« Pour un réveil écologique »
(enquête nationale sur
les bonnes pratiques DDRS
dans l'enseignement
supérieur).

De nouvelles ambitions
DDRS sont en préparation
(COP 2022-2026).

Un binôme référent
"égalité professionnelle"
a été acté et sera nommé,
en complément du réseau
de lutte contre le
harcèlement et les
discriminations.

DÉVELOPPEMENT DURABLE & RESPONSABILITÉ SOCIÉTALE



FAIRE PREUVE DE RESPONSABILITÉ SOCIÉTALE

ENSTA Bretagne défend des valeurs d'ouverture, de tolérance, de diversité et mène des actions concrètes pour réduire les inégalités et veiller au bien-être de tous au travail.

- Prévenir et lutter contre le harcèlement et toute forme de discrimination [réseau « [stopdiscr](#) »].
- Encourager et valoriser les [engagements](#) citoyens et solidaires des étudiants : leurs actions bénévoles contribuent aux 17 objectifs de développement durable de l'ONU.
- Changer de regard sur le [handicap](#) et informer les futurs ingénieurs sur l'accueil de personnes en situation de handicap en environnement professionnel.
- Stimuler l'intérêt des jeunes femmes pour les sciences et l'ingénierie afin d'améliorer la [mixité](#) de ces métiers.

AGIR POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

ENSTA Bretagne forme les innovateurs de demain, des ingénieurs responsables, préparés à agir pour le développement durable. En première année, un enseignement transdisciplinaire porte sur « Les Grands Défis de l'Ingénieur », consacré cette année au thème des déchets. La formation se poursuit dans les projets d'ingénierie en deuxième et troisième année. Il est aussi au cœur de nombreux programmes de recherche en sciences mécaniques, technologies de l'information et sciences humaines.

- Concevoir des systèmes de [transport](#) moins énergivores.
- Réduire l'empreinte environnementale des [villes](#)
- Détecter les [pollutions](#) à la surface des océans.
- Développer les énergies marines [renouvelables](#).
- Mesurer les [impacts](#) des changements climatiques.
- Écouter et surveiller les populations de [mammifères](#) marins.
- Recherches en sciences humaines sur la formation à l'[innovation responsable](#).



Pour plus de mixité dans le numérique, les étudiant-e-s animent des ateliers avec des collégiennes [programme "L codent L créent"].



ENSTA BRETAGNE

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE TECHNIQUES AVANCÉES BRETAGNE

2, rue François Verny
29806 Brest Cedex 09



www.ensta-bretagne.fr

