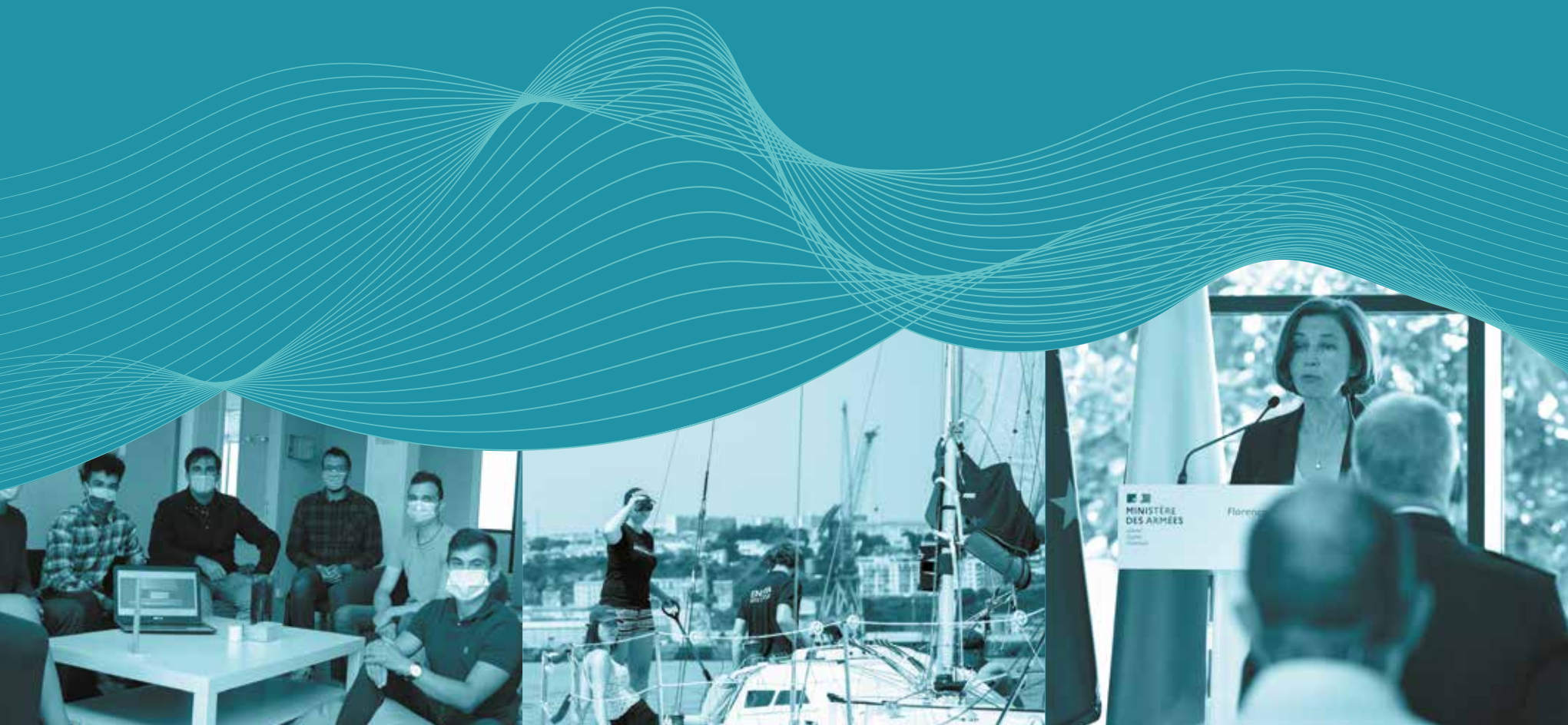




**ENSTA
BRETAGNE**

RAPPORT ANNUEL 2020



SOMMAIRE

p. **3** • Edito

p. **4** **COVID-19**
MOBILISATION EXCEPTIONNELLE

p. **6** **TEMPS FORTS ET RÉCOMPENSES**

p. **8** **MISSIONS ET AMBITIONS**

.....

p. **9** • Une école originale et pionnière

p. **10** • Nos missions

p. **12** • Nos domaines d'excellence

p. **17** • Rayonnement international

p. **18** • Une école tournée vers les entreprises

p. **19** • Nos partenaires et réseaux

p. **20** **LA FORMATION**

.....

p. **21** • Edito

p. **22** • Cycles de formation

p. **24** • Les projets dans la formation

p. **26** • L'incubateur ENSTARTUPS

p. **28** **LA RECHERCHE**

.....

p. **29** • Edito

p. **30** • Sciences mécaniques / l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme
[IRDL, UMR CNRS 6027]

p. **36** • Sciences et technologies de l'information et de la communication
/ le laboratoire Lab-STICC [UMR CNRS 6285]

p. **44** • Sciences humaines pour l'ingénieur / le laboratoire Formation
et Apprentissages Professionnels [FoAP, UR 7529]

p. **46** **CAMPUS**

.....

p. **47** • Développement durable & responsabilité sociétale



Antoine Bouvier, VP exécutif Stratégie et Affaires publiques d'AIRBUS, parraine la promotion 2021 (octobre 2020).



Présentation des recherches en robotique à Florence Parly, ministre des Armées (mai 2020).



Découverte du campus par les nouveaux élèves ingénieurs [septembre 2020].

2020 ne ressemble à aucune autre année.

L'épidémie mondiale a éprouvé nos sociétés toutes entières et n'a pas épargné l'enseignement supérieur, en France et dans le monde.

L'engagement, la réactivité et la créativité des équipes ENSTA Bretagne ont été remarquables. Elles ont réinventé les manières d'enseigner, assuré le lien avec tous les élèves, en France et à l'international, organisé la continuité des activités de recherche, tout en menant des actions innovantes de soutien aux équipes de soin et de secours.

Le réseau formé par l'association des anciens élèves, nos partenaires industriels et les équipes de recherche a joué un rôle essentiel. Cet important maillage d'ingénieurs, de chercheurs et d'entreprises est crucial pour soutenir les recherches de stages, d'apprentissage et d'emploi dans un contexte économique préoccupant. Je salue la force de votre engagement.

Je remercie les élèves qui ont assuré l'accueil des nouveaux étudiants à Brest, intégré leurs camarades internationaux. Grâce à leur vigilance le protocole sanitaire que nous avons mis en place a été respecté. Le lien a été solidement entretenu avec tous les étudiants dans les moments de confinement, avec un magnifique esprit de solidarité et d'écoute.

Une école de progrès qui prépare l'avenir.

Les incertitudes sont fortes et les craintes importantes. Nous avons appris et nous nous adaptons.

L'attachement des équipes et des étudiants à l'ENSTA Bretagne a été souligné à maintes reprises, notamment par les évaluateurs externes intervenus lors des audits ISO 9001, HCERES, CTI qui ont eu lieu en 2020. Les auditeurs ont également noté l'engagement de toutes et tous au quotidien au bénéfice de l'établissement.

L'engagement, la réactivité et la créativité des équipes ENSTA Bretagne ont été remarquables.

La ministre des Armées, Florence Parly en a été témoin en mai lors de sa visite de l'école : « *vous avez de l'or dans vos laboratoires* » a-t-elle souligné,

en annonçant l'intensification des liens entre l'école et l'agence de l'innovation de défense (AID). Elle a en particulier confié à l'ENSTA Bretagne la création d'une feuille de route sur l'innovation maritime (navire du futur, IA...) avec ses partenaires brestois.

L'ENSTA Bretagne est devenue école d'application de l'X. Cette reconnaissance de nos domaines d'expertise et de leur attrait pour les polytechniciens concerne notamment la robotique autonome, l'hydrographie, la pyrotechnie, l'architecture navale et tous les enseignements de l'école.

La première chaire industrielle ANR de Bretagne témoigne de l'expertise de l'équipe de mécanique. Dénommée « self-heating » (auto-échauffement), elle nous associe à Safran et Naval Group pour mieux prédire l'endurance en service de systèmes navals ou aéronautiques.

Le volume historique des contrats de recherche, des thèses soutenues et des publications démontre aussi toute l'importance de l'ENSTA Bretagne dans l'écosystème national et international de l'enseignement supérieur et de la recherche.

2021, une année charnière et structurante. L'ENSTA Bretagne commémorera ses 50 ans et les 30 ans de sa recherche, forte de son histoire, de ce qu'elle est devenue et résolument tournée vers l'avenir. Cette année permettra de définir sa feuille de route pour les 5 ans à venir, afin de s'affirmer plus que jamais comme l'une des meilleures écoles d'ingénieur-e-s françaises.



Jean-Georges Malcor

Président du conseil d'administration

Bruno Gruselle

Directeur

COVID-19



PROTÉGEONS-NOUS
LES UNS LES AUTRES

MOBILISATION EXCEPTIONNELLE

"2020 a été une année éprouvante. Je salue la mobilisation exceptionnelle de tous, à tous les instants, pour réinventer les manières d'enseigner et de travailler. Les équipes ENSTA Bretagne n'ont cessé de s'adapter avec réactivité, pour assurer la continuité des missions de l'école. Nous avons montré à nos élèves et à nos jeunes diplômés, avec l'association des anciens élèves, qu'ils peuvent compter sur leur école. L'engagement a également été immédiat pour apporter un soutien matériel précieux aux équipes de soins et de secours dès le début de l'épidémie. Merci à toutes et tous de cet engagement."

Bruno Gruselle

ADAPTATION CONTINUE

17 mars 2020

1^{er} confinement : toutes les activités de l'ENSTA Bretagne se poursuivent, à distance. En quelques heures les cours basculent en distanciel.

La visioconférence se généralise.

11 mai 2020

Fin du confinement, maintien de l'enseignement à distance dans l'enseignement supérieur.

Fin juin / début juillet 2020

Cours en présentiel limités aux apprentis ingénieurs de 1^{re} année.

18 août 2020

Réouverture du campus après la pause estivale, encadrée par un protocole sanitaire fixant les conditions de reprise des cours, de la recherche et des activités étudiantes. Le rappel des gestes barrières et des règles de distanciation est permanent.

Des enseignements hybrides, associant présentiel et distanciel, sont proposés, permettant la participation des étudiants internationaux retenus dans leur pays et des élèves confinés.

30 octobre / 18 décembre 2020

2^e confinement : l'intégralité des enseignements passe une nouvelle fois en distanciel.

Les activités de soutien, de recherche et d'innovation peuvent se poursuivre sur le campus. Le télétravail est encouragé.

En décembre, seuls sont autorisés en présentiel certains travaux pratiques ainsi que les examens. Les emplois du temps sont réorganisés pour éviter aux élèves de certaines promotions un retour à Brest à l'issue des vacances de la Toussaint.



**250 k€ d'investissements
pour les enseignements hybrides**

INNOVATION & SOLIDARITÉ

**PRÈS DE
5000 VISIÈRES
FABRIQUÉES
ET
DISTRIBUÉES**

En réponse aux besoins des services de santé, Ehpad, secours et forces de l'ordre de la région brestoise, une équipe ENSTA Bretagne lance l'initiative et fédère, en quelques heures, un réseau de "makers". L'appel lancé sur les réseaux sociaux a été entendu par une centaine de volontaires, particuliers et entreprises, équipés d'imprimantes 3D. Les plans sont adaptés et validés par le CHRU de Brest, puis partagés en ligne. L'action de l'école se poursuit à un rythme soutenu, en coordonnant la production, l'assemblage et la livraison des 5000 visières.

[mars-avril 2020]



**ENCEINTE DE
CONFINEMENT
POUR
AMBULANCES**



**30 000
TABLIERS DE
PROTECTION**

Un groupe d'étudiants se lance dans la réalisation de tabliers de protection pour les personnels du CHRU de Brest : découpe aux ciseaux des tabliers et des ceintures dans les bâches plastiques, pliage et conditionnement.

En quelques jours, 30 000 tabliers sont fabriqués et livrés.

[avril-mai 2020]



Ayant connaissance de l'action menée par l'ENSTA Bretagne sur les visières de protection, les « ambulanciers de la rade » contactent l'école. Leur objectif : disposer d'une enceinte de confinement adaptable sur un brancard, qui agit comme une « bulle de protection » afin de confiner le patient et d'éviter tout risque de contamination. En s'inspirant de travaux universitaires, deux enseignants chercheurs conçoivent cette enceinte en l'adaptant aux contraintes des ambulanciers.

[avril-mai 2020]

**NOUVELLE
GÉNÉRATION
DE
RESPIRATEURS
ARTIFICIELS**

Comment réguler en temps réel, le débit, le volume et le taux d'oxygène transmis au patient pour correspondre à son juste besoin ?

Les expertises en robotique et IA ont permis de répondre à cette question et de mettre au point aux côtés du Pr L'Her du CHRU de Brest, un prototype prometteur.

Le respirateur artificiel "non invasif" conçu par l'équipe robotique, est capable de se synchroniser sur les inspirations du patient, afin de détecter et de s'adapter aux besoins en oxygène.

[avril-juin 2020]



**DES ÉLÈVES
IETA AVEC
LES SAPEURS
POMPIERS
DE PARIS**

La brigade des sapeurs pompiers de Paris accueille chaque année des élèves aspirants IETA pour leur formation humaine et militaire.

Cette année, ces aspirants ont été rejoints par des élèves IETA de 1^{re} année bénévoles. Leur aide a été significative. Au plus fort de la crise sanitaire, en plus des missions de secours habituelles, plus de 2500 appels et 500 interventions par jour à Paris étaient liés au Covid-19.

[mars-juin]

TEMPS FORTS ET RÉCOMPENSES

Ce que j'ai vu aujourd'hui en visitant votre école, c'est l'excellence de la recherche, notamment dans le domaine de la robotique sous-marine, de l'acoustique, de la mécanique des matériaux et des fluides, de la cybersécurité.

Florence Parly, Ministre des Armées, le 29 mai 2020



LE CENTRE DE RECHERCHE ENSTA BRETAGNE S'ÉTEND SUR 7500 M² ET COMPREND 3 DÉPARTEMENTS :

- **SCIENCES MÉCANIQUES** : 4000 m², une centaine de chercheurs, intégrés dans l'Institut de Recherche Dupuy de Lôme [UMR CNRS 6027, dont l'ENSTA Bretagne est le 2^e contributeur].
- **TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION** : 3000 m², une centaine de chercheurs, intégrés au laboratoire Lab-STICC [UMR CNRS 6285, dont l'ENSTA Bretagne est le 3^e contributeur].
- **SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES** : 500 m², une vingtaine de chercheurs, intégrés au laboratoire FoAP [UR 7529].



EXTENSION DU CENTRE DE RECHERCHE, INAUGURÉE PAR LA MINISTRE DES ARMÉES

Le bâtiment de 1600 m² inauguré par la ministre des Armées, Florence Parly, le 29 mai, complète les moyens expérimentaux imposants consacrés aux sciences mécaniques sur le campus ENSTA Bretagne.

Les recherches partenariales de l'ENSTA Bretagne avec l'industrie et la défense, visent à prédire la durabilité des matériaux et structures mécaniques en service, à modéliser les interactions hydrodynamiques et les phénomènes pyrotechniques.

ENSTA BRETAGNE DEVIENT ÉCOLE D'APPLICATION DE L'X

Les formations originales comme la pyrotechnie, la robotique autonome, l'hydrographie et l'architecture navale intéressent les élèves de l'École polytechnique qui peuvent suivre ces enseignements avec les élèves de 3^e année. L'école est propulsée dans le cercle restreint des écoles d'application de l'X pour la formation « de 4^e année » des polytechniciens.

Le 13 février 2020, conférence de Corentin Brustlein, Directeur du Centre des études de sécurité de l'Institut français des relations internationales (Ifri) : "La stratégie de défense des Etats-Unis, d'Obama à Trump".



LA MINISTRE DES ARMÉES s'est tout particulièrement intéressée aux recherches conduites avec la DGA et l'industrie, dont Thales, pour le développement des nouveaux systèmes navals de guerre des mines.

Ils font intervenir un ensemble unique de sciences et technologies complexes, toutes réunies à l'ENSTA Bretagne : la conception des systèmes de drones marins et sous-marins autonomes pour des missions de longue durée, leur cybersécurité, les nouveaux capteurs acoustiques et les méthodes de traitement d'imagerie sonar par l'intelligence artificielle.

EXTRAITS DE L'INTERVENTION DE FLORENCE PARLY :

" Conserver la supériorité opérationnelle de nos armées demain, c'est un défi à la fois scientifique, technologique, technique, organisationnel et humain. Et pour relever ces défis, c'est certain, nous aurons besoin de vous."

" Vous avez de l'or dans vos laboratoires [...] C'est pourquoi nous avons décidé de renforcer les liens entre votre école et l'Agence de l'innovation de défense. "

Et s'adressant plus particulièrement aux étudiants : *"Vous avez la chance d'étudier dans une école qui promeut les activités duales [civiles et militaires] et sachez que c'est une force car vous doublez ainsi votre champ de vision et donc vos possibilités."*

La qualité d'accueil
des étudiants internationaux
est labellisée au plus haut niveau.



PARCOURS DE DOUBLES DIPLÔMÉS (DD), EN THÈSE À L'X :

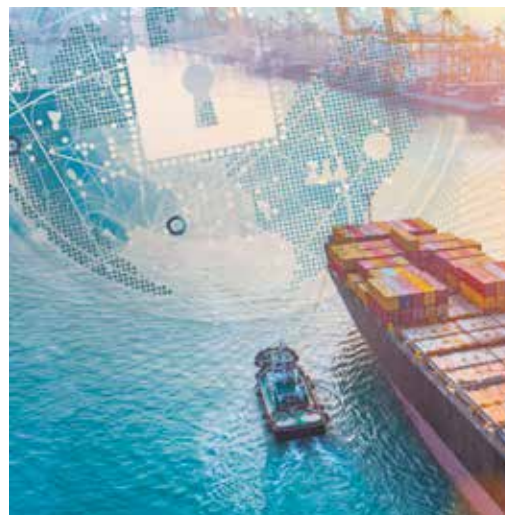
- **Maria Luiza Costa Vianna** (brésilienne) : DD 2019 en « robotique mobile » ENSTA Bretagne / UFMG (Université Fédérale du Minas Gerais) poursuit en thèse à l'X sur ce thème.
- **Martin Avila Torrado** (argentin) : DD 2018 en « modélisation mécanique » ENSTA Bretagne / Université de Buenos Aires, réalise une thèse en co-tutelle X-TU Munich.



NOUVELLE CHAIRE INDUSTRIELLE ANR « SELF HEATING » (AUTO-ÉCHAUFFEMENT) AVEC NAVAL GROUP & SAFRAN

Pilotée par l'ENSTA Bretagne (Institut de Recherche Dupuy de Lôme), deux industriels de référence et associant l'institut P', la chaire industrielle « Self Heating » a été retenue par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Pendant quatre ans, les équipes vont travailler sur la mesure de la signature thermique des matériaux pour les applications navales et aériennes. L'objectif : prédire leur endommagement et leur endurance en service. Le budget s'élève à 2,05 millions d'euros, co-financé par l'ANR, Naval Group et Safran. C'est la 1^{re} chaire industrielle ANR en Bretagne.

+ d'infos page 31



NOUVELLE FORMATION : CYBERSÉCURITÉ DES SYSTÈMES MARITIMES ET PORTUAIRES

Cette formation a été inaugurée en septembre 2020. Unique en Europe, elle forme des experts recherchés pour contrer les attaques actuelles et détecter les menaces futures du secteur maritime. Il s'agit d'un mastère spécialisé (diplôme de niveau bac+6) accrédité par la CGE, comprenant un semestre académique et un semestre de stage. La formation est conduite par 4 grandes écoles réunissant ces compétences : IMT Atlantique, l'École navale, l'ENSTA Bretagne et l'ENSM. Elle bénéficie de la labellisation du pôle mer Bretagne-Atlantique et du Pôle d'Excellence Cyber.

VIE ETUDIANTE CRÉATIVE

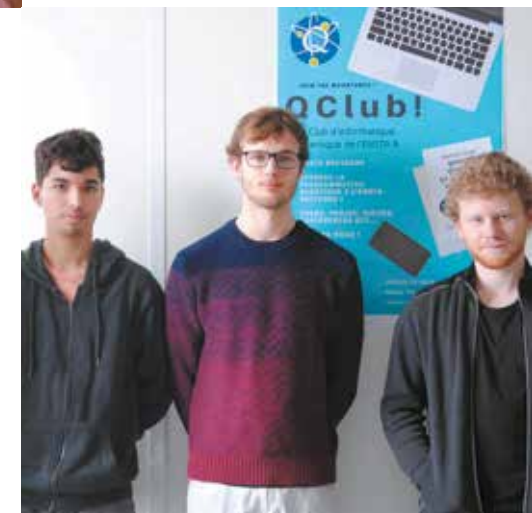
Les confinements n'ont pas entamé la créativité des élèves et les clubs créent du lien

- Impact obtient le label national **"junior-entreprise"** et réalise plusieurs prestations.
- Le nouveau **Q club** permet d'appréhender l'informatique quantique.
- **Kult'Art** réunit les passionnés de peinture, d'arts décoratifs ou de design.
- Les **interclubs numériques** de l'association sportive font bouger, chez eux, tous les sportifs.
- L'école a désormais son **voilier habitable**. A la plus grande association étudiante de voile de France s'ajoute ainsi le plaisir de sorties en mer pour les non navigants.



LEURS TALENTS RECOMPENSÉS

- **Challenge Break the code.** Cinq équipes ENSTA Bretagne ont participé au challenge proposé par Sopra Steria : 2^e participation du club Cyber et 2^e victoire !
- **Hackathon "Act in Space".** Organisé par le CNES, les équipes ont 24 heures pour relever un défi technologique spatial. 50 pays participaient et 14 villes en France. 5 élèves de l'école inscrits, repartent avec le 2^e prix brestois.
- **"La passion d'entreprendre"**. Lors du 6^e colloque de l'ITI Bretagne, en ligne, le concours de pitch vidéo entre les 400 apprentis ingénieurs bretons a été remporté par le projet Hydrogénii / ENSTA Bretagne.
- **2 étudiants primés au trophée SIA** (société des ingénieurs de l'automobile), cf. page 24.





MISSIONS ET AMBITIONS

UNE ÉCOLE ORIGINALE ET PIONNIÈRE

POUR LA DÉFENSE, LE MARITIME ET LES INDUSTRIES INNOVANTES

PLUS DE 50 ANS DE HAUTES TECHNOLOGIES ET D'INNOVATION

Héritière de 200 ans de formation, ENSTA Bretagne fête en 2021 les 50 ans de sa création et les 30 ans de sa recherche. L'école, pluridisciplinaire, forme des ingénieurs et mène des recherches de haut niveau, pour la défense et les industries les plus innovantes.

- Initialement dédiée à la formation des ingénieurs des études et techniques de l'armement (IETA) pour la Direction générale de l'armement (DGA), l'école conserve cette mission essentielle. C'est la seule formation d'ingénieurs pour devenir IETA, complétée par un parcours à l'ISAE-Supaero pour l'expertise aéronautique.
- Les programmes innovants de l'industrie de défense intéressent tous les ans plus du tiers des jeunes diplômés, militaires et civils.
- Au centre de recherche ENSTA Bretagne, les études visent des applications étendues, militaires et civiles, dont une large part en technologies marines, l'un des domaines d'excellence de l'école. Les recherches sont financées par le ministère des Armées, les collectivités et les entreprises partenaires.

Au top 25*
des grandes écoles
d'ingénieurs françaises

- Plus de 80% des étudiants sont civils, attirés par les formations de pointe et les secteurs d'emploi variés : **le maritime, les transports, l'énergie, le numérique, l'aérospatiale.**
- Bien ancrée dans sa région, où c'est la plus ancienne formation d'ingénieurs, l'école s'étend sur un vaste campus de 7 hectares, à Brest, proche du littoral. Il rassemble d'importants moyens pédagogiques et de recherche ainsi que toute la résidence des élèves.
- Les coopérations étendues avec les entreprises et laboratoires, en France et à l'international, le haut niveau des recherches et formations, la diversité, l'originalité et la complémentarité des disciplines constituent un cadre remarquablement stimulant pour **préparer les futurs ingénieurs aux grands défis qui les attendent.**

TAILLE HUMAINE ET DIVERSITÉ

970 étudiants et doctorants

- 85% d'élèves civils, 15% de militaires
- 25 à 30% de jeunes femmes
- 30% de boursiers
- 20% d'étudiants internationaux

Un réseau dynamique de

6000 alumni (anciens élèves)

10 domaines d'excellence
en formation et recherche

DYNAMIQUE DE CROISSANCE FORTE

Depuis 20 ans, l'école attire un nombre croissant d'étudiants, de doctorants et d'enseignants chercheurs de haut niveau, venus de toute la France et au delà.

- **Le nombre d'étudiants a doublé en 15 ans**
- **Le nombre de doctorants a quadruplé en 15 ans**
- **Le nombre de diplômés a triplé en 20 ans**

Les secteurs d'activité partenaires



INDUSTRIE
NAVALE
& ÉNERGIES
OFFSHORE



DÉFENSE
& SÉCURITÉ



TECHNOLOGIES
DE L'INFORMATION
& SYSTÈMES
D'OBSERVATION



AÉRONAUTIQUE
& ESPACE



INDUSTRIE
AUTOMOBILE
& VÉHICULES
TERRESTRES



ENSEIGNEMENT
& RECHERCHE

NOS MISSIONS

“**Étudier, enseigner, innover, mener des recherches à l'ENSTA Bretagne c'est faire le choix de l'excellence, c'est une ouverture sur le monde et l'accès à un réseau exceptionnel d'entreprises de haute technologie et d'organismes scientifiques de renom.**”



FORMATION

ENSTA Bretagne forme des ingénieurs généralistes disposant d'une expertise de haut niveau, immédiatement opérationnels et à fort potentiel. La qualité de la formation ENSTA Bretagne est réputée. Les diplômés sont très rapidement recrutés aux postes qui les intéressent, dans les secteurs d'activité les plus innovants.

Les diplômés de l'ENSTA Bretagne ont des profils variés, avec une vocation commune qui est de participer à des projets d'innovation, en conception, R&D, mesures & essais ou management de programme. Ils sont préparés à évoluer et à relever les grands défis des industries de pointe et de la société : développement durable, transports du futur, numérisation, cybersécurité, exploration maritime et spatiale...

ENSTA Bretagne est au cœur d'un réseau national et international exceptionnel, composé d'entreprises de haute technologie, d'organismes académiques, de centres d'expertise, civils et militaires. De nombreux doubles diplômes permettent aux étudiants de personnaliser leur parcours et d'accroître leur ouverture internationale.

PRÈS DE
300
DIPLOMÉS
À BAC+5 ET +6
PAR AN

— ○ —
3
DÉPARTEMENTS
DE FORMATION
ET DE RECHERCHE

Sciences mécaniques
Sciences et technologies
de l'information et
de la communication
Sciences humaines
et sociales

— ○ —
19
CYCLES
DE FORMATION

👁️ pages 20 à 25



RECHERCHE

Point d'appui d'enseignements d'excellence, une importante activité de recherche pluridisciplinaire est menée sur le campus, fortement tournée vers les applications industrielles, civiles et militaires. Les programmes de recherche sont régionaux, nationaux et internationaux. La production scientifique est importante, en croissance constante, et implique de très nombreux partenaires. Les équipes de recherche ENSTA Bretagne sont engagées dans des laboratoires académiques multi-tutelles (IRDL, Lab-STICC, FoAP) et des structures de recherche communes avec l'industrie. Le centre de recherche dispose de moyens expérimentaux inédits pour caractériser les phénomènes et valider les résultats scientifiques, en sciences mécaniques (plateforme technologique MASMECA) et technologies de l'information (centre cyber, chambre anéchoïde, bassin de robotique, véhicules hydrographiques, systèmes de drones...).

246
CHERCHEURS,
INGÉNIEURS,
TECHNICIENS
ET DOCTORANTS



3
LABORATOIRES
ACADÉMIQUES



8
GIS, CHAIRES
ET LABORATOIRES
COMMUNS

 pages 28 à 45

INNOVATION

La valorisation des travaux scientifiques et la participation aux réflexions stratégiques territoriales confèrent à l'ENSTA Bretagne une place importante dans le monde socio-économique. La création de l'incubateur ENSTARTUPS et un ambitieux programme de soutien et de sensibilisation à l'entrepreneuriat complètent la politique d'innovation ENSTA Bretagne depuis 2017.

 pages 26 & 27





HYDROGRAPHIE & OCÉANOGRAPHIE (CAT. A)



Brest est le berceau mondial de la discipline et l'ENSTA Bretagne la seule école française dispensant une formation en hydrographie de catégorie A (le plus haut niveau, délivré par la FIG-OHI-ACI¹). C'est aussi l'une des plus reconnues au monde.

L'hydrographie et l'océanographie recouvrent les méthodes de mesure et de description des océans, mers, lacs et cours d'eau. Ces informations sont indispensables à la conduite de toutes les activités en mer, littorales ou fluviales.

3 profils sont proposés :

- géomatique,
- océanographie physique marine,
- géophysique marine.

Les étudiants bénéficient d'équipements à la pointe (vedette hydrographique, véhicule amphibie, sondeurs...), d'un environnement favorisant l'application (rade de Brest, lac de Guerledan) et de projets variés (cartographie, recherche d'épave, inspection de barrage, etc.).

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste
- Master "Hydrographie" [catégorie A]
- Masters en double diplôme en "géophysique marine" ou "physique océan climat"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Laboratoire LAB-STICC [UMR CNRS 6285]. cf. pages 36 à 43
- UMR Adaptation et Diversité en Milieu Marin [Station biologique de Roscoff, CNRS / Sorbonne Université].



ROBOTIQUE AUTONOME



Les défis scientifiques sont multiples : autonomie des robots, coordination, furtivité... Dans ce contexte de recherches accrues et d'applications très variées, la formation donne les clés pour concevoir, fabriquer, programmer et expérimenter des robots, mobiles et autonomes, pour la conduite de missions de tous types en milieux marin, terrestre et aérien.

La conduite de projets en robotique nécessite des compétences plurielles :

- conception mécanique,
- perception et traitement du signal,
- utilisation de multiples capteurs (GPS, caméra, sonar...),
- programmation, intelligence artificielle...

En alliant télécommunications, circuits numériques, informatique et sécurité, les ingénieurs et docteurs formés à l'ENSTA Bretagne disposent d'un ensemble de compétences recherché sur tout le globe, par les industriels dans de nombreux secteurs d'activités et les laboratoires de recherche.

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste
- Master robotique mobile
- Doctorat

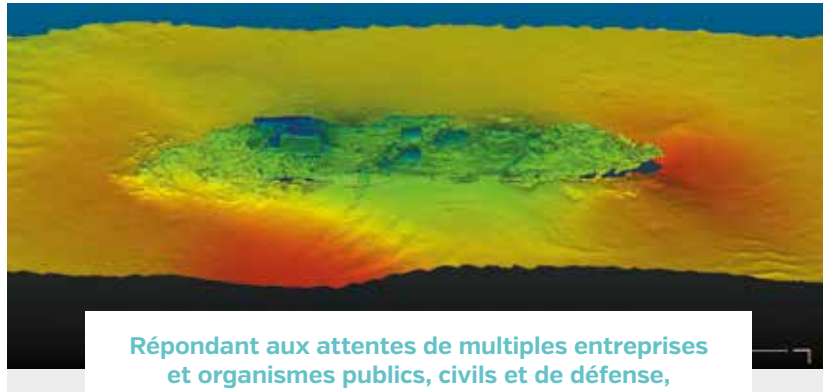
LABORATOIRES

- Laboratoire LAB-STICC [UMR CNRS 6285]. cf. pages 36 à 43
- GIS et laboratoire commun [avec Thales et Naval Group].

¹ Fédération internationale des géomètres - Organisation hydrographique internationale - Association cartographique internationale



SYSTÈMES EMBARQUÉS, D'OBSERVATION & IA



Répondant aux attentes de multiples entreprises et organismes publics, civils et de défense, ENSTA Bretagne concentre des expertises étendues en conception de systèmes embarqués, systèmes d'observation multi-capteurs et technologies avancées de traitement de l'information pour l'aide à la décision.

Pour imaginer et concevoir l'intelligence embarquée et les systèmes d'observation de demain, les recherches et formations mobilisent les techniques avancées en intelligence artificielle et répondent aux enjeux en matière d'acquisition, de traitement et d'analyse de données hétérogènes et volumineuses. Elles comprennent la modélisation des phénomènes physiques, la simulation et l'expérimentation de systèmes mono ou multi-capteurs, l'ingénierie système, la maîtrise des systèmes d'observation embarqués, l'analyse, le traitement et l'interprétation de données (signaux, images...) ainsi que l'aide à la prise de décision (théorie de la décision et de l'estimation).

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste ou formation d'ingénieur par alternance orientée "systèmes embarqués"
- Mastère spécialisé "Ingénierie des systèmes de localisation et multi-senseurs"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Laboratoire LAB-STICC [UMR CNRS 6285]. cf. pages 36 à 43
- GIS et laboratoire commun (avec Thales et Naval Group).



SYSTÈMES NUMÉRIQUES ET SÉCURITÉ



Cette expertise porte sur la conception de systèmes numériques communicants et sécurisés, associant télécommunications, circuits numériques, informatique et sécurité (cybersécurité, sûreté de fonctionnement et protection de la vie privée).

L'objectif est de concevoir des systèmes plus fiables et durables. De nombreuses recherches visent à développer des approches méthodologiques de haut niveau, basées majoritairement sur le génie logiciel pour les systèmes embarqués et l'ingénierie dirigée par les modèles. En cybersécurité, ENSTA Bretagne apporte aux étudiants une vision large, allant de l'antenne et de la chaîne analogique jusqu'à l'analyse de la menace, au niveau système. Les enseignements couvrent l'ensemble de la chaîne : modélisation de l'architecture logicielle et matérielle, exploitation des informations issues des capteurs, mise en place des télécommunications, développement logiciel et sécurisation des systèmes dès la phase de conception.

NOUVEAU
Le mastère spécialisé "cybersécurité des systèmes maritimes et portuaires" a ouvert à la rentrée 2020 (avec IMT Atlantique, l'École navale et l'ENSM).

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste
- Master "Architecture et sécurité des systèmes électroniques et logiciels"
- Master "informatique", co-habilité
- Doctorat

LABORATOIRES

- Laboratoire LAB-STICC [UMR CNRS 6285]. cf. pages 36 à 43
- Chaire de cyberdéfense des systèmes navals. www.chaire-cyber-navale.fr



ARCHITECTURE NAVALE ET OFFSHORE



ENSTA Bretagne conduit la plus importante formation de France en architecture navale et ingénierie offshore, et mène de nombreuses recherches sur les systèmes navals du futur, pour un transport maritime adapté aux grands enjeux et plus respectueux de l'environnement.

Avec cette formation d'excellence, les diplômés sont appelés à concevoir tous types de navires, sous-marins et plateformes navales. Tous les paramètres nécessaires au bon fonctionnement d'un navire sont pris en compte : hydrodynamique et aérodynamique, durabilité, stabilité, propulsion, calcul de structures, manœuvrabilité, tenue à la mer, ergonomie...

Les recherches portent sur l'amélioration des performances des navires, notamment sur le plan propulsif, et sur la modélisation des interactions entre la structure navale et la mer, dans toutes les conditions, jusqu'aux plus hostiles.

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste ou formation d'ingénieur par alternance
- Master "Génie maritime"
- Master "Sciences Marines", parcours "hydrodynamique navale"
- Mastère spécialisé "Ingénierie marine / ANO et ship design"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Institut de recherche Dupuy de Lôme [IRD, UMR CNRS 6027]. cf. pages 30 à 35
- Laboratoire commun Gustave Zédé [avec Naval Group]
- Chaire ANR "Self-heating" [avec Naval Group et Safran]



ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES (EMR)



Produire de l'électricité à partir des énergies renouvelables marines (vent, vagues, courants...) repose sur des plateformes marines et sous-marines innovantes et durables, soumises à de fortes contraintes en mer. Les programmes de recherche et une formation unique en France visent leur développement.

En une année ce mastère spécialisé [bac+6], 100% dédié aux EMR, forme les ingénieurs, futurs chefs de projets ou directeurs de programmes. Accrédité par la Conférence des Grandes Écoles et labellisé par le Pôle Mer Bretagne Atlantique, il associe ENSTA Bretagne, l'École Navale, IMT Atlantique, l'UBO, Ifremer et les entreprises. Une centaine d'experts ont été formés en 10 ans. 90 % ont intégré le secteur des EMR, y compris à l'international. Avec l'Institut pour la Transition Énergétique « France Énergies Marines », les recherches portent sur le comportement mécanique en mer des éoliennes et hydroliennes (durabilité, matériaux, assemblages, pales, lignes d'ancrage, navires de maintenance) et la modélisation de l'environnement marin (courants et fonds).

FORMATIONS

- Mastère spécialisé "Expert en énergies marines renouvelables"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Institut de recherche Dupuy de Lôme [IRD, UMR CNRS 6027]. cf. pages 30 à 35
- Laboratoire LAB-STICC [UMR CNRS 6285]. cf. pages 36 à 43

ARCHITECTURE DE VÉHICULES



Depuis longtemps partenaire de l'industrie automobile et de tout le secteur des véhicules terrestres, l'école forme des concepteurs de véhicules plus performants et plus respectueux de l'environnement. Couplée à une recherche appliquée et un master européen, la formation donne aux ingénieurs de belles perspectives d'emploi en France et à l'international.

À partir d'enseignements solides en conception mécanique, les étudiants abordent les grands enjeux du secteur tels que les normes écologiques et les nouvelles motorisations, l'allègement des véhicules, la fiabilité, la sécurité active et passive, l'habitabilité du véhicule ou la qualification des performances dynamiques. Les enseignants-chercheurs s'intéressent à la fatigue, à la durabilité, à la déformation et, plus globalement, au comportement en service des matériaux et des structures. C'est un axe de recherche stratégique pour valider les choix faits en matière d'allègement des véhicules et réduire les consommations et les émissions polluantes.

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste ou en formation d'ingénieur par alternance
- Master international en ingénierie automobile
- Doctorat

LABORATOIRES

- Institut de recherche Dupuy de Lôme [IRDL, UMR CNRS 6027]. cf. pages 30 à 35
- OpenLab "Computational Mechanics" (avec le groupe PSA).

MODÉLISATION AVANCÉE DES MATÉRIAUX ET STRUCTURES



L'utilisation de nouveaux matériaux et modes d'assemblage est une forte tendance. Il s'agit de relever des challenges complexes de dimensionnement pour de nombreux secteurs d'activité où les performances mécaniques les plus élevées sont cruciales : aéronautique, naval, automobile, énergie, défense, biomédical...

L'optimisation par la modélisation est nécessaire dans tous ces domaines, pour réduire l'empreinte environnementale des activités humaines, pour s'adapter aux nouvelles normes, ou pour saisir de nouvelles opportunités et développer de nouveaux marchés [nouveaux matériaux, procédés innovants, énergies nouvelles...]. Ces enseignements s'appuient sur une recherche de haut niveau visant la caractérisation et la modélisation des propriétés mécaniques de tous types de matériaux et structures. Cette recherche appliquée est réalisée en collaboration étroite avec de nombreux industriels. À ces conditions, l'utilisation des composites, d'alliages légers ou de biomatériaux et les assemblages par collage pourront s'étendre.

FORMATIONS

- Spécialisation de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste
- Master "ingénierie de conception", parcours "mécanique, matériaux et génie civil"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Institut de recherche Dupuy de Lôme [IRDL, UMR CNRS 6027]. cf. pages 30 à 35
- Laboratoire commun Gustave Zédé [avec Naval Group].
- Chaire ANR "Self-heating" [avec Naval Group et Safran].



SYSTÈMES PYROTECHNIQUES



Unique en France, cette formation dédiée à la pyrotechnie prépare à l'analyse et à la conception de systèmes explosifs et à leur intégration dans des systèmes mécaniques.

Seule l'acquisition d'une expertise de haut niveau permet de maîtriser les effets des explosifs et de concevoir des systèmes de propulsion. Défense, aérospatiale, automobile, travaux publics ou encore prévention des risques industriels : de nombreux secteurs d'activité sont concernés. Les innovations portent sur les matériaux énergétiques, plus sûrs pour leurs utilisateurs, ainsi que sur l'atténuation de l'effet de souffle. Des tendances lourdes, qui sont intégrées au cursus et font l'objet de travaux de recherche sur le campus. L'ENSTA Bretagne dispose d'importants moyens expérimentaux dédiés à l'étude des phénomènes dynamiques : propagation d'ondes de choc, combustion, effets de souffle, impacts...

FORMATIONS

- Approfondissement de 2^e et 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste
- Mastère spécialisé "Pyrotechnie et propulsion"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Institut de recherche Dupuy de Lôme [IRD, UMR CNRS 6027].
cf. pages 30 à 35



INGÉNIERIE ET SCIENCES DE L'ENTREPRISE



Cette formation complète les sciences de l'ingénieur et le tronc commun en sciences humaines, pour former des managers, des chefs de projets et des entrepreneurs.

Ces approfondissements en management permettent aux diplômés de s'ouvrir à de plus vastes responsabilités au sein des entreprises ou d'organismes publics. Ils englobent la gestion de projets, l'ingénierie d'affaires, le management de l'innovation, le pilotage de la performance et le management interculturel en contexte international.

D'autres étudiants choisissent une formation d'une année dédiée au management de projets maritimes, qui englobe la conception d'un projet maritime, le management d'une équipe internationale, l'évaluation de la qualité et la gestion de partenariats.

La formation à l'innovation constitue également un champ de recherche original de l'ENSTA Bretagne, incluant l'étude des cursus, français et internationaux, pour former les innovateurs de demain.

NOUVEAU PARCOURS "maintenance des navires"
avec l'Ecole navale, associé au mastère spé. "management de projets maritimes" (retrée 2021).

FORMATIONS

- Approfondissement de 3^e année, en formation d'ingénieur généraliste ou en formation d'ingénieur par alternance
- Mastère spécialisé "management de projets maritimes et maintenance des navires"
- Doctorat

LABORATOIRES

- Unité de recherche « Formation et apprentissages professionnels » [FoAP, UR 7529].
cf. pages 44-45

RAYONNEMENT INTERNATIONAL

" Parce que l'interculturalité est facteur de progrès, l'international est dans l'ADN de l'ENSTA Bretagne, dans toutes ses activités : doubles diplômes, semestres personnalisés dans les meilleures universités partenaires, stages, thèses en co-tutelle..."

Parce que l'excellence est une valeur forte de l'ENSTA Bretagne, nous développons tant la coopération académique que la coopération scientifique avec les établissements et laboratoires les plus en pointe dans nos domaines d'expertise.

Cette politique nous permet également d'accueillir des étudiants internationaux parmi les meilleurs, souvent titulaires de bourses d'excellence et dont l'intégration sur le campus souligne parfaitement l'esprit interculturel qui y règne".

Hélène Guillaumot,

Directrice du développement international et des partenariats

PARCOURS

ALLEMAGNE : Stefanie SCHWARZ [promotion 2021] en deuxième année du master *Hydrography*, après un bachelor en *Sciences Physics of the Earth system* de l'université de Kiel.

AUSTRALIE : Krzysztof BORKOWSKI, après un bachelor of *Engineering in Mechanical Engineering*, il obtient en 2020 le double diplôme de master *Surface ships and submarines* délivré avec l'Université d'Adélaïde (UoA).

CAMEROUN : Manuella FEUNKEU MFUPA est diplômée en 2020 du cycle ingénieur, spécialité "perception et systèmes d'observation", après un master "Modélisation mécanique et vibration" à Le Mans Université.

ITALIE : Giovanni GAMBA, étudiant à Politecnico di Milano, en échange Erasmus+ d'un semestre, il prépare un master en *Mechanical Engineering* [promotion 2022].

LIBAN : Nour BAHLAK, étudiante à l'Université Libanaise - Faculté de Technologie, détentrice de la bourse d'excellence EIFFEL, en double diplôme ingénieur, spécialité "systèmes numériques et sécurité" [promotion 2021].

93
PARTENAIRES
DANS **26** PAYS
+ DE MULTIPLES
COLLABORATIONS
SCIENTIFIQUES

45
PARCOURS
INTERNATIONAUX
DE MSC EN DOUBLE
DIPLOME

EUROPE

- ROYAUME-UNI > CRANFIELD
Cranfield University...
- BELGIQUE > LIÈGE
Université de Liège
- PAYS-BAS > DELFT
TU Delft
- ESPAGNE > BARCELONE
Universitat Politècnica de Catalunya
- PORTUGAL > PORTO
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto de Catalunya
- POLOGNE > GDANSK
Gdansk University of Technology...
- ALLEMAGNE > CHEMNITZ
Technische Universität Chemnitz...
- RÉPUBLIQUE TCHÈQUE > PRAGUE
CZECH Technical University (CTU)...
- ROUMANIE > BUCAREST
Academia Technica Militara Bucarest...
- ITALIE > MILAN
Politecnico di Milano



INTERNATIONAL

- CANADA
HALIFAX : Dalhousie University
RIMOUSKI : Université du Québec (UQAR)
- ÉTATS-UNIS
CHICAGO : Illinois Institute of Technology (IIT)
ATLANTA : Georgia Institute
- COLOMBIE
BOGOTA : Universidad de Los Andes of Technology (Georgia Tech)...
- ARGENTINE
BUENOS AIRES : Universidad de Buenos Aires...
- BRÉSIL
RIO DE JANEIRO : Universidade Federal do Rio de Janeiro
PORTO ALEGRE : Universidade Federal do Rio Grande do Sul...
- MAROC
RABAT : École Mohammadia d'Ingénieurs
- SÉNÉGAL
DAKAR : École Supérieure Polytechniques
- TUNISIE
SFAX : Université de Sfax
- LIBAN
BEYROUTH : Université Libanaise...
- INDE
CHENNAÏ : Indian Institute of Technology Madras (IITM)
GOA : IIT Goa
- VIETNAM
HO CHI MINH : University of Sciences (HCMUS)
- AUSTRALIE
LAUNCESTON : University of South Australia
ADÉLAÏDE :
• l'UoA (University of Adelaide)
• Flinders University
- CHINE
QINGDAO : Ocean University of China
SHANGHAI : Tongji University...
- MALAISIE
KUALA LUMPUR : Universiti Teknologi Malaysia (UTM)
PENANG : Universiti Sains Malaysia Engineering Campus

> Liste complète des partenariats internationaux :
www.ensta-bretagne.fr/partenaires-academiques-internationaux
www.ensta-bretagne.fr/doubles-diplomes-internationaux

**TOUS
LES ANS**

150
PROJETS
D'INGÉNIERIE
réalisés par les groupes
d'étudiants



Vidéo des soutenances
des projets industriels :
[www.ensta-bretagne.fr/
les-projets-dans-la-formation](http://www.ensta-bretagne.fr/les-projets-dans-la-formation)

450
STAGES
D'INGÉNIERIE
de 3 à 6 mois

>1000
ENTREPRISES
PARTENAIRES
EN FRANCE ET
DANS LE MONDE

**DES EXPERTISES
RARES EN
FORMATION
CONTINUE**

Liste des stages sur
ensta-bretagne.fr/formation-continue

UNE ÉCOLE TOURNÉE VERS LES ENTREPRISES

Les collaborations industrielles sont considérables en formation, formation continue, recherche et innovation. Elles garantissent une parfaite adéquation des formations aux attentes des entreprises, une rapidité d'emploi des diplômés et un équilibre structurant entre recherche fondamentale et appliquée.

EN FORMATION

- Enseignements par des experts de l'industrie.
- Participations aux forums sur les métiers et carrières.
- Sujets d'étude et de conception pour la conduite de projets de groupes (niveau bac+4 et bac+5/6).
- Stages d'assistant ingénieur (3 à 5 mois).
ou de projet de fin d'étude (5 à 6 mois).
- Contrats de professionnalisation (niveau bac+5).
- Contrats d'apprentissage.
- Stages de formation continue pour les entreprises.

EN RECHERCHE

- Contrats de recherche.
- Thèses CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la Recherche).
- Essais et mesures.
- Laboratoires communs.
- Chaires de recherche.

VIE DE L'ÉCOLE

- Parrainage d'une promotion.
- Participation aux conseils d'administration, de formation, de recherche, des relations entreprises.
- Soutien financier : taxe d'apprentissage, fonds de dotation ENSTA Bretagne, sponsoring des projets étudiants.



OCTOBRE 2020

Antoine Bouvier, vice-président exécutif Stratégie et Affaires publiques d'Airbus, parrain de la promotion 2021 :

“Les secteurs de l'aéronautique et de la défense ont de grandes attentes à l'égard de l'expertise qu'offrent vos ingénieurs. Notre industrie traverse une période de changement radical et nous avons plus que jamais besoin des compétences que vous offrez dans les domaines de la pyrotechnie, de la modélisation avancée des matériaux et structures, des systèmes d'observation, des systèmes embarqués et de l'intelligence artificielle. Ce sont des compétences essentielles qui permettent à des sociétés comme Airbus de rester compétitives sur la scène internationale.”

+ www.ensta-bretagne.fr/parrainage-de-la-promotion-2021-par-bouvier-airbus

Calendrier 2021/2022 des entreprises :
www.ensta-bretagne.fr/brochure-entreprises-fr



LA MINISTRE DES ARMÉES

a confié à
l'ENSTA Bretagne
la structuration d'un
réseau dédié à la recherche,
l'innovation et la formation
en ingénierie maritime,
associant différents
partenaires académiques,
notamment
IMT Atlantique,
l'Ecole navale et le Shom.

ENSTA BRETAGNE ALUMNI

un réseau actif de
6000 anciens élèves,
animé par des bénévoles,
sous la présidence de
Pierre Faucoup,
PDG de Cilas.



ENSTA BRETAGNE FAIT PARTIE D'ISBLUE.

C'est l'école universitaire
de recherche française
dédiée aux sciences
et technologies marines :
360 étudiants en masters
260 doctorants

NOS PARTENAIRES ET RÉSEAUX

L'école est au cœur d'un vaste réseau
d'entreprises, d'organismes publics, de pôles
de compétitivité, de clusters d'innovation, de
laboratoires, d'universités et de grandes écoles.



Visite de Cécile Sellier, directrice
de DGA/DT (décembre 2020)

TUTELLE

ENSTA Bretagne fait partie des grandes écoles sous tutelle de la **DGA** (Direction générale de l'armement) au sein du ministère des Armées, avec l'École Polytechnique, l'ISAE-Supaero et l'ENSTA Paris.

Les formations, recherches et innovations menées à l'ENSTA Bretagne, pour certaines dans le cadre de contrats avec l'AID (Agence de l'innovation de défense), contribuent à la force d'expertise de la DGA, et plus largement de l'ensemble du ministère des Armées et de ses partenaires industriels.

L'ENSTA Bretagne recrute et forme chaque année des promotions de 43 ingénieurs des études et techniques de l'armement (IETA), amenés à jouer ensuite un rôle essentiel au sein du ministère des Armées dans la préparation, la réalisation et le soutien des grands programmes d'armement.

LES GRANDES ÉCOLES PARTENAIRES

Outre les partenaires internationaux (cf. page 12) et les partenaires au sein des laboratoires de recherche (cf. pages 33 à 51), ENSTA Bretagne propose des parcours variés aux étudiants, en double diplôme ou via des passerelles vers de nombreuses autres formations : IMT Atlantique, ENSTA Paris, ISAE-Supaero, ENSG, ENS Cachan, INSTN, le réseau Polyméca, l'IAE de Brest, Audencia, l'école d'architecture ENSA Paris La Villette... Une culture de l'exigence lie ENSTA Bretagne et l'ensemble de ces écoles.

DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET INNOVATION

ENSTA Bretagne participe activement à de nombreux programmes d'innovation, civils et militaires, et aux réflexions stratégiques qui les définissent. L'action de l'école est à la fois locale, régionale, nationale et internationale.

- **Pôles de compétitivité** : pôle Mer Bretagne Atlantique (économie maritime), ID4CAR (automobile), Images et réseaux, EMC2 (technologies de fabrication d'avenir), Aerospace valley.
- Institut pour la Transition Énergétique (ITE)
- **France Énergies Marines** (énergies marines renouvelables).
- Institut de recherche technologique (IRT) **Bcom** (innovation numérique).
- Cluster d'innovation **ORION** en naval de défense.
- Pôle d'excellence cyber **PEC**.
- Laboratoire d'Excellence **CominLabs** sur les sciences de l'information et de la communication.
- **Groupe Bretagne Télédétection** (GIS BreTel) sur les technologies et applications spatiales.
- **Action territoriale** avec le Campus Mondial de la Mer, le technopôle Brest Iroise, Brest métropole et la région Bretagne.



LA
FORMATION

S'adapter pour maintenir la valeur de la formation et la réussite de élèves

Pendant toute cette année 2020, l'ensemble du corps enseignant s'est mobilisé pour assurer, avec réactivité et sens des responsabilités la sécurité sanitaire et psychologique des élèves, et pour adapter les méthodes et l'organisation pédagogique. J'observe avec une grande fierté que ces objectifs ont été tenus. Mais il faut reconnaître que l'évolution de la situation sanitaire rend l'épreuve longue et plus éprouvante.

Bien plus que pendant les années précédentes, chacun a constamment dû réviser les supports de cours et remettre en cause sa démarche d'apprentissage pour la réinventer. Afin de conduire sans interruption ces changements, la solidarité et l'entraide ont beaucoup compté. L'école a aussi fortement investi dans les outils de formation à distance et dans la virtualisation des systèmes d'information.

L'adaptabilité et la bienveillance affirmées de l'école ont permis de garder le contact avec les élèves en prenant le pouls, chaque semaine, des motivations et difficultés. Le choix a été fait d'assurer l'accueil de tous les élèves étrangers, que ce soit en présentiel ou en distanciel, et d'exercer un suivi attentif et constant de tous nos étudiants en mobilité internationale. A cela s'ajoute un accompagnement renforcé vers le premier emploi des jeunes diplômés de la promotion 2020, qu'a rendu possible notre proximité avec le réseau des anciens élèves.

Les étudiants, dont la vie scolaire a été bouleversée ont eux aussi été confrontés à l'urgence d'acquiescer des méthodes nouvelles. Ils ont dû faire preuve de résilience dans leur vie sociale et associative, mais aussi dans leurs motivations et ambitions scolaires avec en particulier l'annulation des séjours à l'étranger.

Les déceptions sont parfois profondes, pour autant les élèves ont su s'entraider, garder du lien et un bel esprit de promotion. Ainsi, malgré les lassitudes régulières, leur volonté de réussir a résisté, encouragée et soutenue par l'engagement de leurs enseignants et de toute leur école. La valeur de la formation et la réussite académique des élèves, objets de toute notre vigilance, ne sont pas remises en cause.

Continuer à avancer et préparer l'avenir

L'année a été remarquable sur bien d'autres points. Elle confirme le niveau de recrutement très élevé des élèves, que ce soit au concours d'entrée « Mines Télécom » où l'ENSTA Bretagne occupe la première place, ou au travers des admissions sur dossier, avec un nombre et une qualité de candidatures qui ne cessent de croître.

Notre entrée dans le cercle restreint des écoles d'application de l'Ecole polytechnique l'atteste : l'attractivité de l'ENSTA Bretagne est forte et dynamique.

L'offre de formation continue d'évoluer avec, en septembre dernier, l'ouverture d'un master spécialisé sur la cybersécurité des systèmes maritimes et portuaires, et la mise en œuvre d'un nouveau programme de coopération pour des élèves militaires internationaux.

L'école a su également aborder avec réussite les audits de la fin d'année, conduits par les experts de la CTI et ceux du HCERES.

Les auditeurs ont souligné l'engagement et le professionnalisme de tous. Les cycles de formation d'ingénieurs, sous statut étudiant et sous statut apprenti, très bien identifiés par le monde professionnel, ont été reproposés à l'accréditation. Et changement notoire, le cycle par alternance a évolué en deux parcours diplômants, mettant d'avantage l'accent sur leurs spécificités en architecture navale et véhicules d'une part, et en systèmes embarqués de l'autre.

Cette années 2020 restera dans nos mémoires et est emblématique de la capacité de notre école à s'investir et à continuellement se renouveler. J'associe à mes remerciements les équipes de la direction de la formation, mobilisées auprès des étudiants et des enseignants, et attachées à renforcer la qualité de service, avec écoute et dynamisme.



Rémy Thibaud
Directeur
de la formation

CYCLES DE FORMATION

[CHIFFRES À LA RENTRÉE 2020]

Former des ingénieurs
et des chargés d'expertise

CYCLE INGÉNIEUR GÉNÉRALISTE

Cursus en 3 ans, habilité par la CTI (bac+5)

ENSTA Bretagne délivre un enseignement pluridisciplinaire de haut niveau, pour répondre aux grands enjeux technologiques et sociétaux. Les diplômés sont très appréciés des entreprises, en France et à l'international. Ils sont immédiatement opérationnels dans le domaine d'expertise choisi et aptes à évoluer et prendre rapidement des responsabilités.

TRONC COMMUN

- généraliste, complet et équilibré.
- mathématiques, technologies de l'information, numérique, sciences mécaniques, sciences humaines, management interculturel, défis sociétaux...
- nombreux projets d'application avec les entreprises.
- ateliers : jeu d'entreprise, stage de leadership...

9 VOIES D'EXPERTISE AU CHOIX



PROFILS

- Ingénieur d'étude, conception, R&D, expertise, essais et mesure.
- Ingénieur pour l'armement.
- Ingénieur chercheur.
- Ingénieur chargé d'affaires.
- Ingénieur entrepreneur.

ADMISSION

- après classes préparatoires scientifiques, sur concours commun Mines-Télécom : 155 places.
- ou sur dossier et titre universitaire (L3, M1, M2).

631
étudiants

78 % civils
22 % militaires

50°
promotion diplômée

27 %
d'étudiantes
(en hausse)

Rentrée 2020 :

Le niveau des étudiants admis confirme l'attractivité de l'école (1^{er} école du concours Mines-Télécom) avec 165 intégrés pour 155 places en 1^{er} année, dont 37 IETA.

FORMATION D'INGÉNIEUR PAR ALTERNANCE

Cursus en 3 ans, dispensé avec les entreprises et l'ITII, habilité par la CTI (bac+5)

Le programme est également pluridisciplinaire et exigeant. Il associe cours et mises en pratique en entreprise, pour conduire au meilleur niveau des étudiants à fort potentiel, issus principalement de formations technologiques (DUT, BTS). La qualité des parcours professionnels des 10 premières promotions ont fait la renommée de la formation. Le nombre et la qualité des candidatures continuent de s'élever.

- 100 % du temps en formation
- 40 % de séquences académiques
- 60 % de séquences professionnelles

TRONC COMMUN

- généraliste, complet et équilibré.
- mathématiques, technologies de l'information, numérique, sciences mécaniques, sciences humaines, management interculturel, défis sociétaux...
- mémoire et soutenance à chaque retour de séquence professionnelle sur des sujets technologiques ou de culture d'entreprise.

4 VOIES D'EXPERTISE AU CHOIX



PROFILS

- Ingénieur d'étude, conception, R&D, expertise et essais.
- Ingénieur chargé d'affaires.
- Ingénieur entrepreneur.

ADMISSION

- après bac+2 (DUT, BTS), CPGE, sur dossier et entretien : 50 places.

127
apprentis ingénieurs

40 %
de profils
"systèmes embarqués"

60 %
de profils "architecture
navale" ou "véhicules"

12°
promotion diplômée

Rentrée 2020 :

La qualité des dossiers reçus et la confiance des entreprises se soldent par l'admission de 43 nouveaux apprentis ingénieurs.



ENQUÊTE EMPLOI PROMOTION 2019



Dans toutes les spécialités, la rapidité d'intégration professionnelle des jeunes diplômés et la hausse des salaires moyens confirment l'adéquation des profils aux attentes des entreprises..

298
DIPLOMÉS
DONT **244**
INGÉNIEURS

97 %
TAUX NET D'EMPLOI
À 6 MOIS
moyenne nationale : 90 %

12 JOURS
TEMPS MOYEN
D'OBTENTION
DU 1^{ER} EMPLOI

39800 €
SALAIRE BRUT
MOYEN ANNUEL

Représentativité de l'enquête : 100 %. Enquête annuelle conduite début 2020 sur le plan national par la Conférence des Grandes Écoles, sur les ingénieurs diplômés de la promotion 2019, 6 mois après l'obtention du diplôme.

MASTERS

Cursus en 2 ans, accrédités par le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (bac+5)

6 MASTERS ORIGINAUX

- **HYDROGRAPHIE***
[catégorie A, par l'organisation internationale FIG-OHI-ACI]. Réaliser et expertiser des levés hydrographiques, suivant les normes internationales du métier.
- **GÉNIE MARITIME**
Élaborer tous types de systèmes navals, navires, plateformes ou sous-marins. Il est associé au MSc of Marine Engineering de l'Université d'Adélaïde (UoA) dans le cadre d'un parcours de **double diplôme franco australien** « navires et sous-marins* ».
- **ROBOTIQUE MOBILE ET VÉHICULES MARINS AUTONOMES***
Dédié à la conception et réalisation de systèmes robotiques mobiles, il intègre les aspects matériels et logiciels.
- **INGÉNIERIE AUTOMOBILE***
Unique en Europe, ce programme international associe 5 établissements de 5 pays : ENSTA Bretagne, Université de Prague (CTU), Université d'Arnhem (HAN), Université de Chemnitz (TUC) et Université de Bandung (ITB).

- **ARCHITECTURE ET SÉCURITÉ DES SYSTÈMES ÉLECTRONIQUES ET LOGICIELS**
Il répond aux défis des systèmes communicants sécurisés : modéliser l'architecture logicielle et matérielle, exploiter des informations fournies par des capteurs, mettre en place des télécommunications...

5 MASTERS CO-ACCREDITÉS

- **Masters « Sciences marines »** (avec UBO/IUEM).
 - parcours **HYDRODYNAMIQUE NAVALE**
 - parcours **PHYSIQUE DE L'OcéAN ET CLIMAT** (côtier, hauturier ou sciences des données océaniques)
 - parcours **GÉOPHYSIQUE MARINE**
- **Master « Ingénierie de conception », parcours MÉCANIQUE, MATÉRIAUX ET GÉNIE CIVIL** (avec UBO, UBS, ENIB et INSA Rennes).
- **Master « Informatique », parcours SYSTÈMES INTERACTIFS, INTELLIGENTS ET AUTONOMES** (avec UBO, ENIB et IMT Atlantique).

38
étudiants

auxquels s'ajoutent les élèves militaires formés dans le cadre de contrats avec les armées étrangères.

MASTÈRES SPÉCIALISÉS (MS)

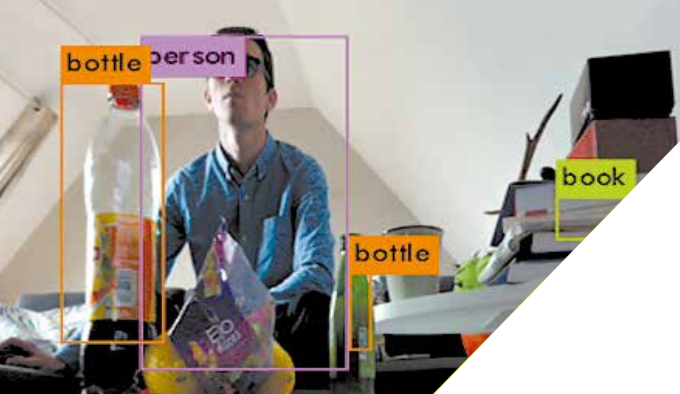
Cursus en 1 an, accrédités par la Conférence des Grandes Écoles (bac+6)

INTÉGRER DES FILIÈRES DE HAUTE TECHNOLOGIE D'AVENIR

- **CYBERSÉCURITÉ DES SYSTÈMES MARITIMES ET PORTUAIRES***
Nouveau à la rentrée 2020
Contre les attaques actuelles et détecter les menaces futures pour défendre et opérer les systèmes spécifiques, maritimes et portuaires (formation labellisée par le Pôle Mer Bretagne Atlantique).
- **INGÉNIERIE MARINE ARCHITECTURE NAVALE, OFFSHORE ET SHIP DESIGN***
Former des architectes navals, chefs de projet, ingénieurs d'étude, ingénieurs de recherche ou chefs de chantier naval.
Il est associé au DPEA de l'école d'architecture ENSA Paris La Villette, dans le cadre du parcours « ship design ».
- **EXPERT ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES (EMR)***
Concevoir les systèmes pour capter les EMR, analyser les impacts et enjeux, diriger des programmes EMR.
- **MANAGEMENT DE PROJETS MARITIMES***
Piloter, coordonner et évaluer des projets maritimes d'envergure internationale (formation labellisée par le Pôle Mer Bretagne Atlantique).
- **PYROTECHNIE ET PROPULSION***
Maîtriser les phénomènes physiques de combustion, déflagration et détonation et les intégrer dans un système mécanique de propulsion.
- **INGÉNIERIE DES SYSTÈMES DE LOCALISATION ET MULTI-SENSEURS*** (avec ENSTA Paris).
Concevoir des dispositifs technologiques multi-senseurs.

49
étudiants

***DES FORMATIONS
UNIQUES
EN FRANCE**



LES PROJETS DANS LA FORMATION

Acquisition active des connaissances, sur des problématiques réelles, à toutes les étapes de la formation.

EXEMPLES DE PROJETS D'INGÉNIERIE DE 2^e ET 3^e ANNÉE

• **Cybersécurité** / projet "Goldorak"

Sur des bras robotisés, représentatifs d'une chaîne d'assemblage industrielle, une approche de co-simulation a été développée pour détecter des attaques informatiques. Cela incluait le déploiement de capteurs, le développement de scénarii, l'injection de fautes, le contrôle à distance via des PCs ou des smartphones.

• **Systèmes d'observation sécurisés** / projet "SPOLIVA" avec KEREVAL

Il était conduit dans le cadre du projet KER-SEVECO sur la cybersécurité des systèmes embarqués dans les véhicules connectés. L'objectif : démontrer que les LIDAR sont vulnérables aux attaques et proposer une solution matérielle et logicielle (un démonstrateur) pour détecter et détourner ces types d'attaques (exemple : système de brouillage). Les solutions ont pu être testées.

• **Systèmes embarqués** / projet "Deepdart"

Deux apprentis-ingénieurs, Tony et Théo, ont travaillé sur la reconnaissance de robots par intelligence artificielle. Leur projet intégrait différentes phases : l'apprentissage (12 000 images ont été intégrées dans la base de données ; super-calculateur), l'exécution de l'algorithme d'analyse d'image et la détection (un algorithme retravaille l'image).

• **Hydrographie et robotique** / projet "Ulysse : bathymétrie autonome par USV" (photo)

Les élèves hydrographes et roboticiens collaborent tous les ans sur des projets expérimentés sur le lac de Guerlédan. Un groupe s'est intéressé à Ulysse, un catamaran autonome. Au terme du projet, Ulysse était capable de quadriller une zone, de repérer, en temps réel, une erreur

dans un levé bathymétrique et de repasser là où des erreurs avaient été constatées. Ulysse offre de nouvelles perspectives : la réalisation de cartes marines de zones non navigables, peu profondes ou à risque.

• **Conception mécanique** / projet Thales "déploiement/récupération de sonar remorqué"

27 concepts avaient été imaginés en 2019 par différentes équipes. Une 28^e équipe a proposé un ultime concept synthétisant les meilleures idées. Celui-ci a été pré-dimensionné, modélisé en CAO et livré à Thales.

• **Conception mécanique** / "banc d'essai pour usure de chaînes d'ancrage".

En lien avec une thèse conduite à l'école (au laboratoire IRDL, avec : CEREMA, Phares et Balises, la Marine Nationale et les fabricants de chaînes Marit et Carlier) le banc d'essai permettra de reproduire en laboratoire les phénomènes d'usure des chaînes immergées en fixant un certain nombre de paramètres. Suite aux 27 concepts proposés par les équipes, un nouveau projet fera la synthèse pour proposer le "meilleur" banc d'essais.



• **Architecture de véhicules** / hybride

"Quelle architecture hybride et quel contrôle pour un camion long courrier de 44 tonnes?" (trophée SIA 2020 : société des ingénieurs de l'automobile). En répondant au cahier des charges qui définit les caractéristiques d'un camion hybride devant atteindre "0" émission de CO2 pendant les livraisons urbaines, les étudiants ont remporté le deuxième prix.

Les nombreux projets d'application menés favorisent l'acquisition d'une vision système par les étudiants. Ces mises en situation leur permettent de progresser rapidement sur des projets de plus en plus complexes, et d'être immédiatement opérationnels en fin de formation. Les projets d'application de groupe sont encadrés par les enseignants chercheurs et menés aux semestres 3, 4 et 5 sur des sujets réels d'entreprises ou inspirés des problématiques les plus récentes. Ils permettent l'étude et la réalisation de produits complets, dans les 10 domaines d'expertise de l'école.

EXEMPLES DE PROJETS DE FIN D'ÉTUDE (PFE) DE LA PROMOTION 2020

Les meilleurs PFE en architecture navale, hydrodynamique, ship design et EMR.

- **Paul BUHNEMANN** (MS IMANO) : PFE chez Marine Assistance, sur la conception d'un navire de soutien pour champs d'éoliennes offshore.
- **Sinéad WEGELER** (MS IMANO) : PFE chez EFINOR Sea Cleaners, sur la conception d'un navire de récupération des déchets en mer.
- **Paul RENAUD** (ingénieur, cycle FISE, spécialité architecture navale) : PFE chez Thalès DMS, pour la conception d'un modèle de manœuvrabilité pour la récupération des drones.
- **Thibault LECARPENTIER** (ingénieur, cycle FIPA, apprenti chez Naval Group) : PFE sur la production et la consolidation du devis des masses (apport des méthodes outillées).
- **Juliette LEPROU** (ingénieure ENSTA Bretagne 2019, major du MS EEMR 2020) : PFE chez Principle Power, en management de projet, dans le cadre du programme « Kincardine » de champs d'éoliennes offshore flottantes, au large d'Edimbourg en Ecosse.
- **Johan DAELMAN** (ingénieur ENSTA Bretagne 2015, diplômé du MS EEMR 2020) : PFE chez Quadran Energies Marines, sur la préparation des appels d'offres « éolien flottant » 2021/2022 et la mise en place d'une chaîne de calcul hydrodynamique.

Le prix ATMA du meilleur projet maritime: l'hydrographie-océanographie à l'honneur.

Les 5 meilleurs projets de fin d'étude sont nominés pour l'obtention du prix 2020, tous en lien avec des défis majeurs pour la protection de notre environnement.

- **Solène DÉALBÉRA** (ingénieure, PFE chez LEGOS à Toulouse) : « *Principal risque d'inondation côtière au niveau global : subsidence terrestre ou hausse du niveau de la mer ?* ». Il s'agit de mieux comprendre les phénomènes à l'origine des inondations du littoral, responsables de nombreux dégâts humains et matériels.
- **Rémi GIRARDON** (ingénieur, PFE à l'université de La Rochelle) : « *Modélisation numérique Barocline et multi-échelle de la côte des Pertuis Charentais* ». Il s'agit d'améliorer la manière de prendre en compte le déver-

sement des fleuves dans un modèle océanique côtier. Ces modèles permettent de mieux appréhender la circulation hydrodynamique dans les zones estuariennes afin, par exemple, d'étudier l'impact de pollutions.

- **Pierre-Antoine LAMER** (ingénieur, PFE à ISTERRE à Grenoble) : « *Reconstruire les variations du niveau des mers depuis l'ère Quaternaire en étudiant les récifs coralliens fossiles* ». Cet excellent stage en géophysique marine s'inscrit dans la prévision ce qui va se passer demain en cherchant d'abord à comprendre ce qui s'est passé hier.
- **Pierre-Yves L.** (ingénieur IETA, PFE à Ifremer à Brest) : « *Réalisation d'une carte géomorphologique des fonds marins de la Manche et de la partie nord du golfe de Gascogne : analyses morphologiques automatisées à partir de modèles numériques de terrain bathymétriques* ». La classification automatique des fonds est une thématique d'innovation en data science, indispensable à la compréhension de l'océan.
- **Alicia MAURICE** (ingénieure, PFE chez EDF DTG) : « *Optimisation de la mesure de célérité en hydrographie fluviale et côtière* ». Les techniques étudiées permettent une optimisation de la mesure de célérité en acquisition et lors du traitement des données en hydrographie fluviale et côtière, permettant une meilleure qualité des levés bathymétriques dans ces zones.

Les meilleurs PFE en technologies de l'information, sciences mécaniques et sciences de l'entreprise

Robotique / robot parachute autonome

- **Kevin B.** (ingénieur IETA, PFE à l'AID) : « *Conception et réalisation d'un parachute autonome* ». Partant de zéro, un tel système devait être modélisé, simulé et construit. Différents algorithmes de navigation ont été développés, ainsi qu'un estimateur permettant de mesurer le vent en vol. L'intégration de ces éléments a abouti à la réalisation d'un premier prototype pour lequel il a été nécessaire de choisir les capteurs, les actionneurs et le microcontrôleur. [▶ youtu.be/L04n5RVhgAc](https://youtu.be/L04n5RVhgAc)

Modélisation avancée de matériaux et structures

- **Arthur PELTRE** (PFE chez EDF) : "Comparaison de méthodes de dimensionnement sismique d'engins de

manutention". Après cet excellent PFE, l'étudiant a été recruté en CDI en qualité d'ingénieur d'étude chez Edvance (filiale d'EDF et de Framatome).

Architecture de véhicules

- **Antoine BOURASSEAU** (PFE chez Renault Trucks) : « *Conception d'un pont arrière pour poids lourd électrique* ». Le jeune diplômé est ingénieur en bureau d'étude en CDI chez Goupil (véhicules électriques utilitaires).

Pyrotechnie / propulsion laser pour déviation d'astéroïdes et débris spatiaux

- **Aurihona WOLLF** (ingénieure, PFE au CEA) : « *Étude de la quantité de mouvement transmise par ablation laser et fragmentation* ». Après une année de césure à l'OTAN, son dernier semestre d'étude à l'ENSTA Bretagne doublé d'un master recherche (ISAE ENSMA) et la co-rédaction d'un article scientifique, l'étudiante a réalisé un excellent projet de fin d'étude au CEA CESTA, acteur mondial de la pyrotechnie sur les effets de la propulsion laser, où elle est ingénieure de recherche.

Systèmes d'observation et IA / imagerie médicale

- **Amadou SALL** (ingénieur, après un PFE au Laboratoire d'Imagerie Biomédicale (LIB), Sorbonne Université, où il poursuit en thèse) : « *Imagerie ultrasonore intra-osseuse du col du fémur* ». Une approche différente de la physique a permis d'imager pour la première fois l'intérieur de l'os cortical par échographie ultra-sonore. Ce travail a montré que par un changement en traitement de signal, la qualité des images et le diagnostic sont améliorés pour évaluer la dégradation osseuse. Une étude détaillée du modèle physique et numérique a permis de choisir l'outil de simulation le plus adapté au tissu osseux qui est un milieu élastique et poreux.

Ingénierie et sciences de l'entreprise / Gestion de projet IT et travail à distance

- **Alexis BAULU** (ingénieur, PFE puis CDI chez Dassault Systèmes, en qualité de « *Finance BTC Business Process Analyst* ») a "transformé" son sujet de PFE suite à la crise : il a déployé « *Planning Analytics* », conduit le projet, accompagné les utilisateurs et construit une application de « *Workload Management* ». C'est la crise de mars 2020 et le travail nomade/à distance/confiné qui l'ont conduit à proposer cet outil social au service des projets.

SENSIBILISER À L'ENTREPRENEURIAT



CONTACT

Antonin RAFFARIN,
responsable entrepreneuriat
& ENSTARTUPS
antonin.raffarin@ensta-bretagne.org
T. +33 (0)2 98 34 89 38

Yann Morin, apprenti-ingénieur, vient d'intégrer l'incubateur et crée une moto électrique innovante.



ACTIUM : un marqueur de position sous-marine pour plongeurs, imaginé par la start-up IANIRA et créé par des ingénieurs de recherche ENSTA Bretagne.



L'incubateur ENSTARTUPS promeut l'entrepreneuriat et soutient les créateurs.

Créé en 2017, l'incubateur ENSTARTUPS a pour vocation d'accueillir des porteurs de projet en phase d'idéation et de les conseiller à toutes les étapes. Il poursuit son développement en accueillant de nouveaux projets et en favorisant l'envol de start-ups prometteuses.

Antonin Raffarin, responsable d'ENSTARTUPS :
« La phase de création est un moment déterminant pour ces entrepreneurs. Nous validons avec eux tous les points en amont afin que la création et la suite de l'aventure puissent se passer dans les meilleures conditions possibles. En parallèle, l'échec ou l'abandon font aussi partie de la vie d'un projet de start-ups. Deux projets ont décidé d'arrêter leurs aventures entrepreneuriales faute d'avoir trouvé un marché ».

NOUVEAUX PROJETS

- **YMADE** : moto électrique en bois, par un apprenti ingénieur
- **OX-EYE** : bureau d'étude en architecture navale (<http://ox-eye.com/>), par un ancien élève
- **ARKANE** : traitements radar et IA (pour la 5G, l'internet des objets, le spatial...), **lauréate du challenge « Lanceur du futur » (CNES)**.
- **SEEDERAL** : conception d'un tracteur électrique

EN INCUBATION

- **SPLASHELEC** : deux projets : « rendre accessible la voile à un novice » [pilotage via joystick] et « projet sur l'asservissement de foils ».
- **TRASH SURFBOARD** : « planches de surf à base de cartons recyclés ».
- **ORPHIE** : « améliorer la vision sous-marine des caméras ».

STARTUPS EN ENVOL

- **FIL&FAB** : « valorisation des filets de pêche », moyens de production déployés (www.fil-et-fab.fr).
- **UMOJA** : « chaussures en tissus africains » commercialisées (www.umoja-shoes.com).
- **GWILEN** : « valorisation des sédiments marins » en commercialisation (www.gwilen.com).
- **IANIRA** : « balise de marquage pour plongeurs », équipée d'un système créé et breveté par l'ENSTA Bretagne, en commercialisation.

11
PROJETS INCUBÉS
en 2020

4
START-UPS créées

INNOVER ET ENTREPRENDRE



Avant d'avoir envie de créer une entreprise, il faut avoir l'envie d'entreprendre. La formation ENSTA Bretagne se déroulant sur 3 années permet de transmettre aux étudiants cette passion pour l'entrepreneuriat de manière progressive.

En première année, la sensibilisation concerne tous les étudiants.

- Une conférence permet de casser les mythes sur l'entrepreneuriat. Elle est animée par le Technopôle Brest Iroise en présence d'entrepreneurs de l'incubateur ENSTARTUPS, avec lesquels les échanges se nouent très rapidement.
- Dès le 1^{er} semestre, les étudiants ont aussi la possibilité de faire leurs premiers pas dans le monde de l'entrepreneuriat en choisissant des problématiques de start-ups dans le cadre du projet « rédaction bibliographique ».

En deuxième année, les volontaires peuvent expérimenter l'entrepreneuriat.

- Ils peuvent participer au concours régional puis national des Entrepreneuriales. 2 équipes ENSTA Bretagne ont concouru en 2019.
- Un séminaire de création d'entreprise a été initié en partenariat avec The Corner, au sein de cet incubateur privé établi à Brest, dont les locaux atypiques révèlent un autre environnement aux étudiants.

Durant 3 jours de formation, les étudiants ont à résoudre une problématique en validant le besoin et en prototypant rapidement la solution (tant sur du hardware que du software). 35 étudiants en ont bénéficié.

Une concrétisation est proposée en troisième année.

- Les étudiants qui approfondissent les « sciences de l'entreprise » ont la possibilité de suivre le parcours « entrepreneuriat » et de travailler sur leur propre projet de création d'entreprise. Une soixantaine d'heures encadrées par des intervenants extérieurs abordent toutes les facettes du business plan, afin de pouvoir le rédiger et le présenter à des banquiers et investisseurs. 9 élèves ingénieurs ENSTA Bretagne sont inscrits à ce parcours à la rentrée 2020, auxquels s'ajoutent 10 doctorants de l'ENSTA Bretagne et d'autres établissements.
- Les étudiants peuvent également continuer le développement de leur entreprise en stage, en semestre 6, dans le cadre de leur Projet de Fin d'Étude (PFE), et viser d'intégrer un incubateur, par exemple ENSTARTUPS à l'ENSTA Bretagne.

FOCUS

INVENTION BREVETÉE

Sur une idée de la startup IANIRA, un brevet a été déposé par l'ENSTA Bretagne et attribué fin 2020.

Le contrat de licence associé a été signé en janvier 2021, permettant la commercialisation des balises de marquage pour plongeurs [système ACTIUM].

Cette balise innovante permet de marquer et de géolocaliser durablement un emplacement sous-marin d'intérêt pour les plongeurs professionnels et amateurs.

A man wearing a grey sweater and a dark face mask is working at a computer in a laboratory. He is looking at a 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 image, starting from the left and curving across the bottom. The text 'LA RECHERCHE' is written in large, white, bold, sans-serif capital letters across the bottom left.

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

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

124
THÈSES en cours,
soutenues et débutées

12,4 M€
DE CONTRATS
notifiés en 2020

150
PUBLICATIONS
et communications
en conférences

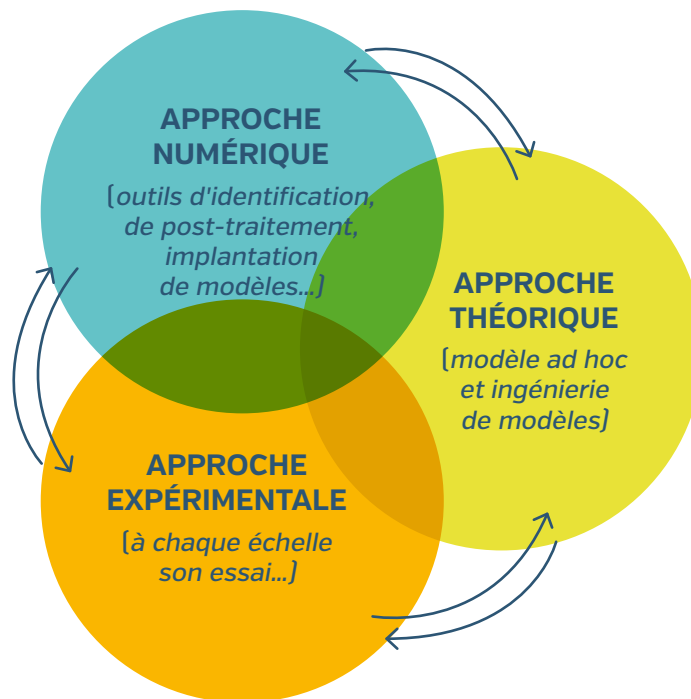
Institut
de Recherche
Dupuy de Lôme
UMR CNRS 6027
institut Carnot ARTS

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.

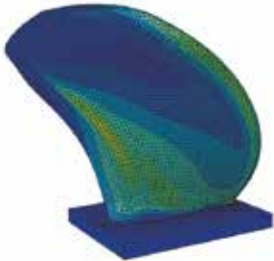
- MER : construction navale, offshore, EMR.
- TRANSPORT : automobile, aéronautique.
- DÉFENSE : naval, terrestre.

CONTACT

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



Tribolindenteur 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'IRD 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 relai en 2021.

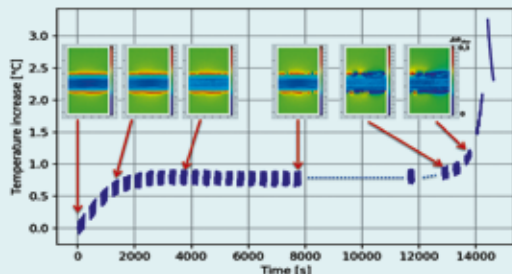
www.ensta-bretagne.fr/solid-sail-20-une-voile-rigide-100-composite

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.

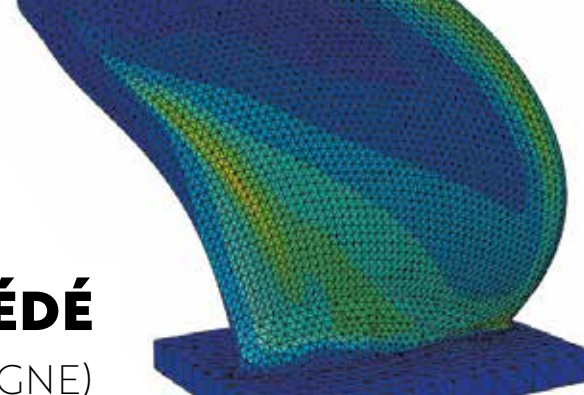
COMPORTEMENT ET DURABILITÉ DES MATÉRIAUX HÉTÉROGÈNES (PTR5)

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

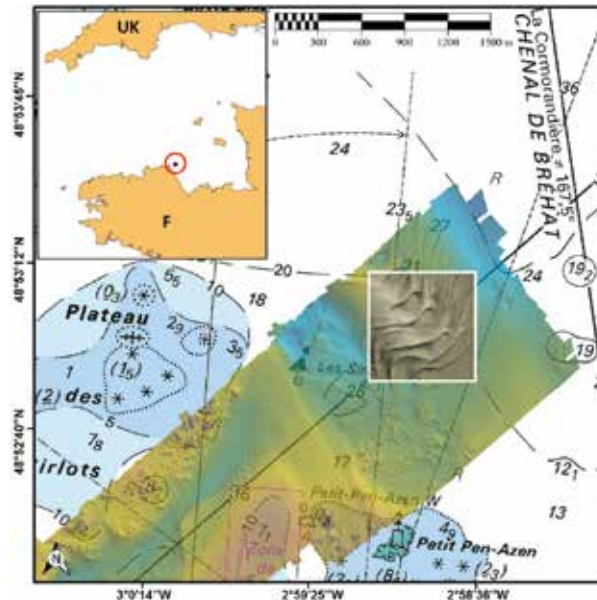
Laboratoire des Sciences
et Techniques de
l'Information, de
la Communication et
de la Connaissance
UMR CNRS 6285

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.



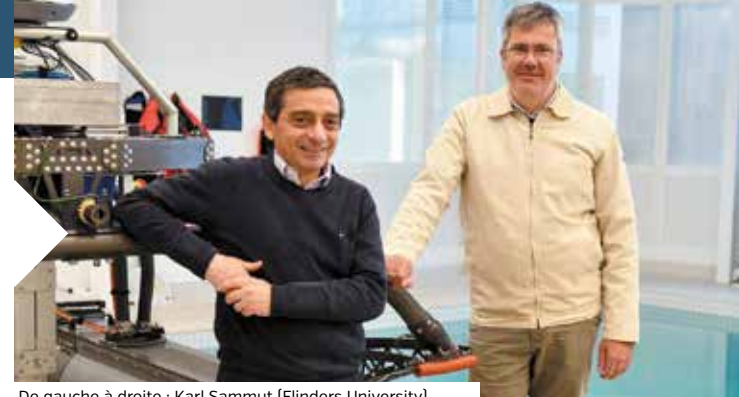
75
PUBLICATIONS



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 ».

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

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).

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.



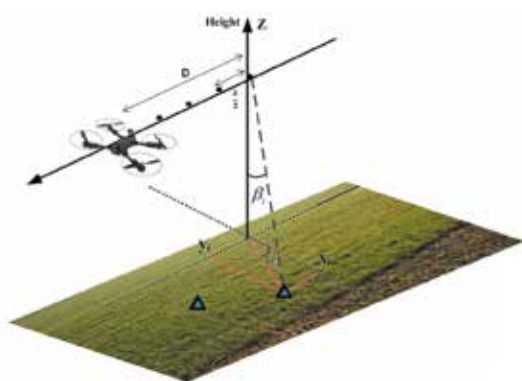
robotique mobile
système autonome # localisation
perception # contrôle

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'IIoT* ».
- **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.

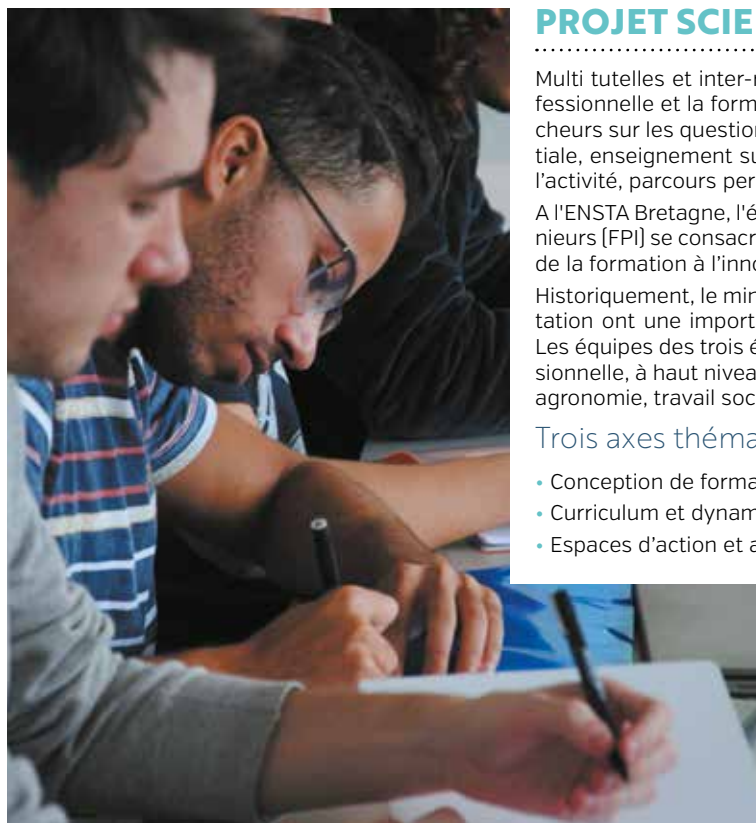
DONT **10** CHERCHEURS
ET **16** DOCTORANTS
dans l'équipe Formation
et Professionnalisation
des Ingénieurs (FPI)

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

CAMPUS

Parmi les grands aménagements de 2020, citons par exemple :

- les aménagements intérieurs et l'installation de nouveaux moyens expérimentaux au centre de recherche
- la réfection d'un espace de recherche endommagé
- les investissements pour les enseignements à distance et hybrides
- la rénovation d'une place et du stade
- les études amorcées pour la construction d'un bâtiment qui sera consacré aux formations, recherches et expérimentations en robotique.

BUDGET : 24,8 M€

[CRÉDITS DE PAIEMENT 2019]

RESSOURCES	DÉPENSES
Subvention du ministère des Armées ▼ 14,9 M€	Personnel ▼ 16,7 M€
Autres ressources [recherche, formation...] ▼ 9,6 M€	Fonctionnement ▼ 5,8 M€
Fonds propres ▼ 0,3 M€	Investissement ▼ 2,3 M€

EFFECTIF

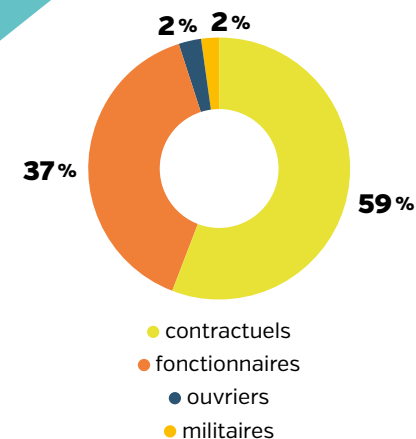
[HORS DOCTORANTS]

Une équipe pluridisciplinaire de **244** personnes

- > **75** enseignants chercheurs (dont 25 HDR)
- > **25** enseignants
- > **20** techniciens
- > **27** ingénieurs de recherche
- > **20** post-doc
- > **77** personnels de soutien et d'encadrement (dont 2 apprentis)
- > et **320** vacataires environ.

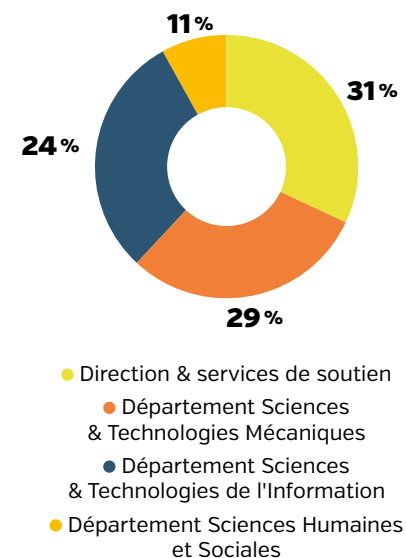
STATUTS

DES PERSONNELS



MISSIONS

DES PERSONNELS



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

