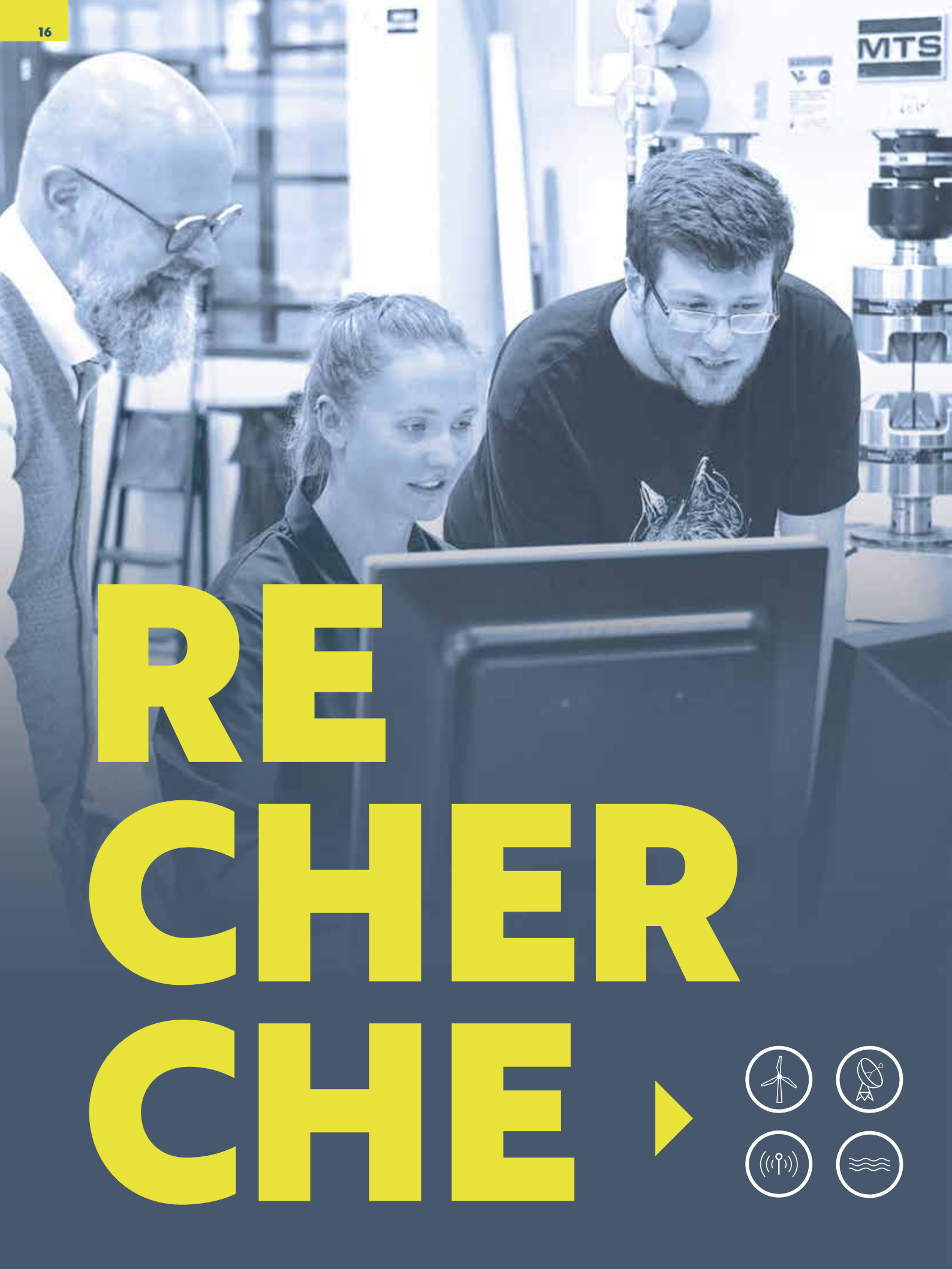




BILAN SCIENTIFIQUE



RE CHER CHE ▶



UNE ACTIVITÉ DE RECHERCHE TOURNÉE VERS LA DÉFENSE ET L'INDUSTRIE



Yann Doutreleau

Les activités de recherche relèvent des sciences de l'ingénieur et répondent à des enjeux applicatifs civils et militaires, posés par les entreprises, le ministère des Armées (DGA, AID) et les agences ministérielles (ANR, ADEME...). Les domaines d'application sont principalement les systèmes de défense, le maritime, les transports terrestres et aériens, l'aérospatiale, l'énergie.

En appui des laboratoires les infrastructures consacrées à la recherche continuent leur développement. Englobant aujourd'hui de nombreux moyens de caractérisation des matériaux et structures (fatigue, impact, pyrotechnie), de caractérisation et d'exploration du milieu marin (acoustique, électromagnétisme, robotique), de moyens en conception de systèmes numériques sécurisés, ils sont complétés progressivement dans le cadre du CPER 2021-2026 (Contrat de Projet Etat-Région), financés par l'Europe, l'Etat français, la région Bretagne, le département

du Finistère et Brest métropole pour un montant total d'environ 10 M€. Ils permettent de développer des programmes scientifiques autour de la conception des systèmes navals, l'observation des océans, les technologies spatiales et drones, la cybersécurité des systèmes maritimes, la digitalisation de l'industrie, les matériaux pour la transition écologique, la robotique d'exploration. L'année 2023 voit en particulier l'acquisition d'un microtomographe permettant de caractériser la constitution des matériaux à une échelle fine.

La dynamique contractuelle et la production scientifique sont cette année encore à un excellent niveau et l'augmentation du nombre d'enseignants-chercheurs habilités à diriger des recherches offre de nouvelles perspectives de progrès.

yann.doutreleau@ensta-bretagne.fr
Directeur de la recherche



3 nouvelles Habilitations à Diriger des Recherches



Claudiu Badulescu
Laboratoire IRDL¹

Collage des matériaux

Les assemblages multi-matériaux se multiplient dans l'industrie. Depuis 2012, les recherches de Claudiu Badulescu portent sur la caractérisation de ces assemblages à l'aide de tests non destructifs, ainsi que sur la modélisation de leurs comportements en fonction de divers paramètres : environnement, nature des matériaux, etc.

De nouvelles pistes sont actuellement explorées, comme l'utilisation d'adhésifs biosourcés (d'origine naturelle) pour remplacer leurs équivalents synthétiques ainsi que la mise au point d'une propriété autocicatrisante pour les structures collées difficiles d'accès.

1 > Département Assemblages multi-matériaux, au laboratoire IRDL, UMR, institut Carnot ARTS.

2 > Équipe P4S (Processes for safe and secure software and systems), au laboratoire Lab-STICC, UMR.

3 > Équipe MATRIX (modèles, algorithmes et information), laboratoire Lab-STICC, UMR

4 > AUV : autonomous underwater vehicle (robot sous-marin autonome)



Ciprian Teodorov
Laboratoire Lab-STICC²

Vérification logicielle automatisée

Pour gagner en fiabilité et assurer le bon fonctionnement des logiciels, la vérification formelle se développe. Elle consiste à analyser l'exactitude du fonctionnement des programmes logiciels, en comparant deux représentations différentes. Depuis 10 ans Ciprian a suivi une voie alternative. Il développe une nouvelle approche, GVmin3, qui propose une architecture logicielle modulaire, compositionnelle et réutilisable pour la conception d'une grande variété d'outils d'exploration du comportement des programmes logiciels.



Gilles Le Chenadec
Laboratoire Lab-STICC³

Exploration sous-marine

Amplifier l'exploration des océans et les activités humaines en mer induit l'utilisation de robots toujours plus autonomes, aptes à se repérer, à se déplacer et à analyser des données. Gilles s'intéresse à la perception automatique du milieu sous-marin par le développement de méthodes basées sur l'analyse des ondes acoustiques sous l'eau, en combinant modélisation acoustique, traitement statistique du signal et de l'image et machine learning. Le chercheur développe également de nouvelles méthodes d'apprentissage automatique (machine et renforcement learning) pour un pilotage automatisé et optimisé de ces AUV⁴.

SCIENCES MÉCANIQUES

INGÉNIERIE DES MATÉRIAUX
ET DES SYSTÈMES MÉCANIQUES EN ENVIRONNEMENT

De multiples coopérations industrielles.

- avec les industriels de la BITD (base industrielle et technologiques de défense), le ministère des Armées (AID et DGA), la société civile, le pôle de compétitivité mer Bretagne, l'ITE France Energies Marines, le Fablab Exelcar, etc.
- Le taux de thèses CIFRE avec l'industrie est significatif : 40%.
- 2 laboratoires communs consolident ces coopérations industrielles avec la BITD : Gustave Zédé avec Naval Group, Thor avec Arqus.

Le projet scientifique de l'IRD privilégie les applications maritimes civiles et de défense en ingénierie des matériaux et des systèmes mécaniques.

Il cible les secteurs des constructions navales, de l'offshore et des énergies marines renouvelables et intéresse aussi les transports terrestres, l'aérospatiale et le médical.

ENSTA Bretagne contribue à 3 des 5 pôles thématiques de recherche (PTR) de l'IRD :

- Assemblages multi-matériaux : modélisation multiphysique et caractérisation / PTR 2
- Structures, fluides et interactions : déformation sous sollicitations sévères et rapides (hydrodynamique et impacts en mer, effets des explosions) / PTR 3
- Comportement et durabilité des matériaux : effets des sollicitations thermomécaniques et d'environnement / PTR 5



L'Institut de Recherche Dupuy de Lôme

IRD est une unité mixte de recherche du CNRS (6027), membre de l'institut Carnot ARTS.

IRD fédère les équipes de 2 écoles d'ingénieurs et 2 universités (ENSTA Bretagne, ENIB, UBS et UBO).

Une plateforme expérimentale de grande ampleur (PFT Masmeca : 1500 m²) permet des essais multi-échelles afin de valider les modèles théoriques et numériques développés.



Des moyens expérimentaux étendus et originaux.



MODELISER LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX ET ASSEMBLAGES EN ENVIRONNEMENT (MARIN, AÉRIEN, TERRESTRE)

#AÉRONAUTIQUE

VIEILLISSEMENT À L'AIR D'UN COLLAGE HYBRIDE COMPOSITE-MÉTAL

Nouvelle thèse avec Safran composites.

Les composites sont de plus en plus assemblés avec des matériaux métalliques. Ces assemblages hybrides sont le plus souvent réalisés par collage. Cette thèse s'intéresse au vieillissement du collage dans le cas précis de pièces en titane collées aux bords d'attaque des aubes fan en composite de moteurs d'avion. Il s'agit de modéliser et caractériser les contraintes extrêmes et l'endommagement subis par le joint de colle entre le titane et le composite, afin d'améliorer le design de ces pièces et les performances de ce type d'assemblage. Un des cas d'application est la mise au point du moteur d'avion zéro carbone de Safran et GE Aviation prévu pour 2035.

Laboratoire IRDL (PTR 2).

Doctorant : Tom SAVARD

Contact : david.thevenet@ensta-bretagne.fr

#NAVAL

VIEILLISSEMENT HYDRIQUE D'UN COLLAGE EN MER



Thèse soutenue par Andreea TINTATU (financement : Thalès, DGA/AID).

Le collage est une technique d'assemblage de plus en plus utilisée dans le milieu industriel, en particulier dans le domaine maritime. La présence d'humidité peut avoir une influence capitale sur la tenue mécanique de ces assemblages collés. Andreea a étudié les mécanismes de diffusion de l'eau dans un matériau adhésif époxy, en observant l'évolution des porosités du joint de colle par tomographie aux rayons X, avant de modéliser ce comportement mécanique à long terme.

Laboratoire IRDL (PTR 2).

Contact : philippe.le_grogneq@ensta-bretagne.fr

#AUTOMOBILE

VIDÉO DE DOCTORANT : PIERRE-YVES CORBEL



[Voir la vidéo](#)

Ruptures d'interfaces métal-élastomère, le cas des pneumatiques.

Pierre-Yves cherche à identifier à quel moment et de quelle manière une fissure apparaît entre deux matériaux très différents : un métal et un élastomère (du caoutchouc par exemple). L'application directe étant les pneumatiques. Il s'intéresse aux ruptures entre la partie rigide du pneu (câble ou carcasse) et la partie souple (la gomme)

(partenaire / financement ?)

Laboratoire IRDL (PTR 2).

Contact : julien.jumel@ensta-bretagne.fr

#NAVAL #NUCLÉAIRE

CONTRAINTES RÉSIDUELLES AU COEUR DES ACIERS DE FORTE ÉPAISSEUR

Le projet RESISTANCE (2024-2026) vise la mise au point d'une méthode pour mesurer ces contraintes

Dans les domaines de la construction navale et du nucléaire, les industriels ont recours à des structures en acier de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur afin de permettre à ces structures de résister aux fortes pressions. Les procédés de fabrication (formage, soudage) génèrent des chargements internes supplémentaires appelés « contraintes résiduelles » dont la connaissance constitue un enjeu majeur pour optimiser leur dimensionnement et leur durée de vie. Or, mesurer ces contraintes résiduelles au cœur des structures est difficile de par leur forte épaisseur. RESISTANCE vise le développement de nouvelles méthodes de mesures et la mise au point d'un jumeau numérique post-fabrication.

• *Projet ANR ASTRID 2023,*

financé par l'AID, conduit avec Naval Group

Laboratoire IRDL (PTR 5)

Contact : bruno.levieil@ensta-bretagne.fr

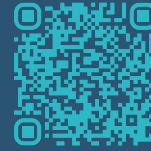
CHAIRE INDUSTRIELLE ANR « SELF-HEATING »


Prévoir l'endurance en service, à très grand nombre de cycles, de tous types de matériaux (financé par l'ANR, le groupe Safran et Naval Group).

L'originalité du programme est de reproduire les sollicitations subies en service par un matériau et de mesurer l'évolution de sa température pour déterminer le moment d'endommagement. Cette mesure de l'auto-échauffement est un indicateur de grande précision des propriétés en fatigue des matériaux. La volonté commune de Safran et Naval Group est d'étendre cette méthode de caractérisation à tous les matériaux et assemblages utilisés (métaux, composites, matériaux issus de la fabrication additive). L'objectif final est de disposer de nouvelles connaissances sur les propriétés des matériaux pour réduire les impacts environnementaux d'une part et gagner en performance et compétitivité d'autre part.

- L'équipe : 44 scientifiques et ingénieurs, dont 6 doctorants et 6 post-doc.
- Budget : 2,05 M€ sur 4 ans

#NAVAL #AÉRONAUTIQUE VIDÉO DE DOCTORANTE : MATHILDE RENAULT



 Voir la vidéo

Des hélices marines obtenues par impression 3D

L'impression 3D « arc-fil » permet de réaliser des objets à géométrie complexe et de grande dimension. La thèse de Mathilde vise à développer les modèles numériques de dimensionnement pour permettre la fabrications additive d'hélices marines à longue tenue en service.

Laboratoire IRDL (PTR 5), chaire ANR
Contact : sylvain.calloch@ensta-bretagne.fr

#NAVAL #DÉFENSE

DURABILITÉ DES LIGNES D'ARBRES DE TRANSMISSION EN ACIER

Thèse soutenue par Corentin GUELLEC
(financement : CIFRE Naval Group)

Les lignes d'arbres de transmission sont soumises à des chargements complexes, à très grand nombre de cycles. Caractériser ces contraintes répétées par des expérimentations a permis d'identifier les cycles de fatigue et les différents modes et risques d'endommagement, liés à la rotation de la ligne d'arbre et aux manoeuvres du navire. Ensuite un critère de fatigue propre à l'acier utilisé a été calculé et validé.

Laboratoire IRDL (PTR 5), Labcom Gustave Zédé
Contact : cedric.doudard@ensta-bretagne.fr



#MARITIME #EMR #FRANCE2030

RÉDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DE L'ÉOLIEN FLOTTANT



L'équipe ENSTA Bretagne-IRDL est en charge de la modélisation du comportement mécanique de lignes d'ancrage innovantes et de la mise en place de méthodes pour leur inspection sous-marines, afin de réduire les coûts de maintenance (axe 2 du projet)

En parallèle, plusieurs autres briques technologiques sont qualifiées afin de préparer le déploiement des futurs parcs éoliens offshore de grande capacité en optimisant la performance économique et environnementale du flotteur, de sa conception à ses maintenances en service. Chaque innovation sera développée dans une démarche d'éco-conception, prenant en compte le cycle de vie, la recyclabilité et l'impact sur l'environnement marin.

- Durée du projet : 4 ans (2023-2026)
- Budget : 5,7 M€, financé par l'Etat (appels à projets France 2030 opérés par l'ADEME)
- Piloté par BW Ideol, concepteur du flotteur éolien offshore « Floatgen »
- Partenaires : ENSTA Bretagne, Centrale Nantes, Ifremer, Fondation Open-C et IVM Technologies.

Laboratoire IRDL (PTR 5)
Contact : yann.marco@ensta-bretagne.fr

MODÉLISER LES IMPACTS EN MER ET LES EFFETS DE SOUFFLE

#NAVAL

SIMULATION DES EFFETS DE LA HOULE SUR UN NAVIRE

Thèse soutenue par Leila SALOMON
(financement : DGA)

En hydrodynamique navale, on cherche couramment à estimer la résistance à l'avancement d'un navire, et plus particulièrement la résistance ajoutée dû à la houle. Cette dernière, pouvant représenter jusqu'à 40 % de la résistance totale, est souvent très mal prise en compte et nécessite le développement d'outils de calcul adaptés. L'outil numérique développé parvient à simuler des écoulements bi-fluides air/eau. La méthode utilisée se base sur une formulation éléments-finis. Elle obtient une grande précision des résultats et permet de gagner en temps de calcul comme l'a révélé l'étude comparative menée avec d'autres résultats numériques (issus d'approches volumes-finis/VOF)..

Laboratoire IRDL (PTR 3).

Contact : pierre-michel.guilcher@ensta-bretagne.fr

#NAVAL

EFFETS DES EXPLOSIONS SOUS-MARINES



Voir la vidéo : bit.ly/3xdxbtH

Le projet AID PROPEXIM (2023-2026) se concentre sur les effets de la propagation des ondes de choc générées par des explosions sous-marines.

L'objectif est de produire un document de référence pour les forces françaises, leur permettant d'évaluer rapidement et précisément une menace potentielle. Divers scénarios sont pris en compte : la présence de munitions historiques dans les fonds marins, des activités hostiles visant des installations militaires nucléaires ou civiles, les exercices en mer ou le transport de matières énergétiques.

Ce projet se distingue en explorant la propagation des ondes de choc sur un fonds marin complexe (structures portuaires par exemple) et leurs conséquences. L'approche expérimentale en bassin sera suivie de la constitution d'un jumeau numérique puis d'une recherche de solutions mathématiques pertinentes.

Laboratoire IRDL (PTR 3).

Contact : lorenzo.taddei@ensta-bretagne.fr

#NAVAL

ATTÉNUER LE BRUIT SOUS-MARIN



Former les doctorants du programme européen
« SEASOUNDS »

Ce projet débute en 2024. Il vise à mieux caractériser et prédire les paysages sonores sous-marins afin de créer des systèmes « barrières » pour atténuer le bruit sous-marin provoqué par les activités humaines (trafic et travaux maritimes). L'équipe ENSTA Bretagne spécialisée en modélisation des effets des explosions en mer a la mission de former les doctorants du programme aux outils théoriques et méthodologiques de cette discipline.

Laboratoire IRDL (PTR 3).

Site web : seasounds-dn.cnrs.fr

Contact : michel.arrigoni@ensta-bretagne.fr



#DÉFENSE

VIDÉO DE DOCTORANTE : MARION BRATEAU



Voir la vidéo

Quand température, pression et vitesse s'affolent...

Marion a étudié les phénomènes physiques au coeur d'un nouveau type de munition, plus compacte, qui équipe les forces armées françaises et britanniques. La particularité ? la balle est intégrée dans la poudre plutôt qu'à côté.

Thèse soutenue, effectuée en contrat CIFRE avec CTA International.

Laboratoire IRDL (PTR 3).

Contact : michel.arrigoni@ensta-bretagne.fr

SCIENCES & TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

DU CAPTEUR À LA CONNAISSANCE :
COMMUNIQUER ET DÉCIDER

Le Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication et de la Connaissance (Lab-STICC)

- Lab-STICC est une unité mixte de recherche du CNRS (6285).
- Lab-STICC fédère les équipes de 3 écoles d'ingénieurs et 2 universités : ENSTA Bretagne, IMT Atlantique, ENIB, UBS et UBO.
- Les moyens expérimentaux : plateformes d'observation marines et robotiques, bassins d'essais, moyens nautiques, chambre anéchoïde, moyens cyber.

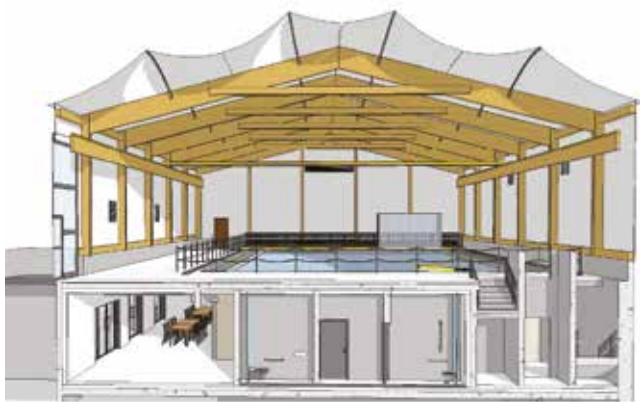
Le projet scientifique du Lab-STICC cible la défense et les industries civiles, en particulier le maritime, l'aérospatiale et la santé.

Chaires, labcom et GIS : de nombreux programmes de recherche sont conduits en partenariat la DGA, l'AID et les entreprises de la BITD. Des structures de recherche avec l'industrie ont été créées dans le domaine maritime : chaire ANR Oceanix, chaire de cyberdéfense des systèmes navals avec Thales et Naval Group, laboratoire commun et GIS avec Naval Group et Thales.



Les équipes ENSTA Bretagne contribuent à 5 des 9 pôles du Lab-STICC avec 2 objectifs généraux :

- ▶ Représenter et décrire l'environnement (marin, sous-marin, terrestre) et domaines connexes
 - Physique des ondes et systèmes de perception
 - ▶ Créer des méthodes de conception d'architectures logicielles et électroniques à haute performance
 - Architectures matérielles et outils de CAO
- Robots d'exploration, meutes de drones, systèmes autonomes
 - Traitement de l'information, IA et décision
 - Imagerie, détection d'objets
 - Hydrographie, bathymétrie, océanographie
 - Monitoring de l'environnement marin, paysages sonores sous-marins, interactions océan-atmosphère
- (4 pôles impliqués : IA & océan, DMID, SYPH, T213).

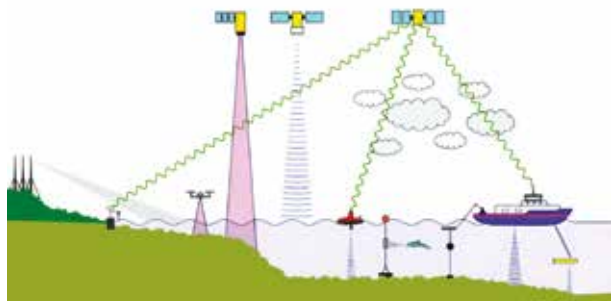


▲
Vue du futur grand bassin d'essais dédié à la robotique marine autonome. Ses dimensions : 20 m x 12 m x 6 m de profondeur. Mise en service en 2025.

REPRÉSENTER ET DÉCRIRE L'ENVIRONNEMENT MARIN

EXPLORER, DÉTECTER, DÉCRIRE, DÉNOMBRER, CLASSIFIER, SUIVRE L'ÉVOLUTION

ROBOTIQUE AUTONOME, ACOUSTIQUE, BATHYMÉTRIE, TÉLÉDÉTECTION, TRAITEMENT DE L'INFORMATION, IA



EXPLORER ET DÉCRIRE LES FONDS MARINS À L'AIDE DE DRONES AUTONOMES

L'équipe ROBEX conçoit l'intelligence de robots marins autonomes d'exploration. Elle crée, développe et expérimente les outils méthodologiques et mathématiques de programmation des robots pour différentes missions. L'autonomie est complexe à mettre en œuvre. De nombreux sujets de thèse permettent de dépasser pas à pas les limites techniques d'observation, de communication ou de géolocalisation dans le milieu sous-marin.



Pr. Luc Jaulin

« L'intérêt des applications est immense. Que ce soit pour l'exploration des grands fonds, la surveillance d'un site sensible, la recherche d'épave, le sauvetage en mer ou l'intervention en zone dangereuse, les drones marins prennent le relais des humains chaque fois que les tâches deviennent trop répétitives, trop longues, trop coûteuses ou trop dangereuses... »

L'autonomie des robots marins et sous-marins est une des clés pour remplir correctement ces missions d'exploration, sur de grandes distances ou à de grandes profondeurs. Notre équipe intervient sur cet objectif complexe d'autonomie des robots en utilisant des méthodes mathématiques qui permettent de programmer les robots et de solutionner différentes situations d'application. »

www.ensta-bretagne.fr/robex

Contact : luc.jaulin@ensta-bretagne.fr



AUTOMATISER L'ÉVITEMENT DES COLLISIONS EN MER POUR LA COURSE AU LARGE

PIXEL sur MER, SEA.AI et ENSTA Bretagne relèvent le défi lancé par la classe IMOCA et le pôle mer Bretagne Atlantique.

L'objectif de cette alliance d'experts en électronique embarquée, en fusion de données et en intelligence artificielle, est clair : développer une solution qui permettra de détecter, d'identifier et d'éviter automatiquement les obstacles afin de réduire les risques de collisions et ainsi d'améliorer la sécurité des marins. 3 objectifs : la vision artificielle, la fusion de données et l'automatisme du changement de cap...PIXEL sur MER et ENSTA Bretagne unissent leurs forces sur ce 3e volet afin d'élaborer les algorithmes sophistiqués qui permettront de calculer rapidement et avec précision les trajectoires d'évitement et l'automatisation du changement de direction du bateau.

Laboratoire Lab-STICC (équipe ROBEX).

Contact : lucia.bergantin@ensta-bretagne.fr

VIDÉOS DE DOCTORANTES :



[Voir la vidéo](#)

**Mathilde MICHEL doctorante
en traitement de signal et bio-acoustique**

Son travail de thèse intègre deux grands volets : allonger la collecte des enregistrements sonores pour un meilleur suivi par la mise en place de stratégies de sous-échantillonnage et traiter les données en les reliant aux informations environnementales (température de l'eau, présence de proies...) afin de mieux comprendre les interactions avec les déplacements des cétagés.



[Voir la vidéo](#)

**Perrine BAUCHOT, doctorante en intelligence
artificielle pour le suivi des océans**

L'océan représente 70.8% de la planète : un vaste espace encore mal connu. L'enjeu de la thèse de Perrine est de s'appuyer sur différents types d'observation acquises sur l'océan (images satellites, bouées, bateaux...), de les combiner et les valoriser grâce à l'intelligence artificielle pour mieux comprendre les phénomènes physiques en place

SUIVRE LES POPULATIONS DE CÉTACÉS EN MER PAR ACOUSTIQUE PASSIVE



Les 7 positions d'écoute dans le Parc naturel marin d'Iroise.

Bilan du projet Cetiroyse (2022-2023), un projet France Relance avec l'Office Français de la Biodiversité

Cette méthode de mesure non intrusive est déployée et améliorée sans cesse au travers de différents programmes sur tout le globe. Dans le cadre de Cetiroyse, les équipes du Parc naturel marin d'Iroise (PNMI) et d'ENSTA Bretagne ont déployé un observatoire d'écoute et suivi des cétacés durant une année en mer d'Iroise. Le suivi a été mené en 7 points du parc (cf figure ci-dessus). Ces enregistrements relevés tous les 3 mois ont permis de mieux inventorier les espèces présentes et de connaître la fréquence, la saisonnalité et les zones précises fréquentées. Le parc naturel marin d'Iroise accueille des populations résidentes de grands dauphins mais constitue aussi une zone d'importance pour d'autres cétacés : dauphins communs, marsouins communs, dauphins de Risso, rorquals communs, petits rorquals.

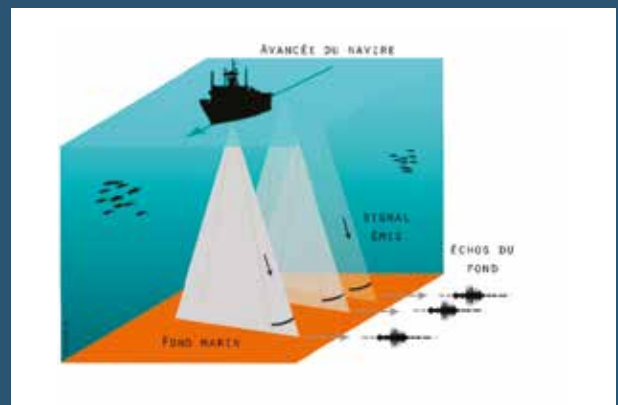
Le principe ? observer en captant les sons émis. Sous l'eau, la lumière pénètre uniquement sur une dizaine de mètres, réduisant rapidement la visibilité. Le son en revanche se propage cinq fois plus rapidement que dans l'air et y est faiblement atténué, faisant de la communication acoustique le moyen le plus adapté pour la transmission de l'information sous-marine. Les cétacés émettent ainsi toute une gamme de signaux sonores dans une large gamme de fréquences pour communiquer, se repérer et chasser. Le suivi par acoustique passive consiste à enregistrer le bruit sous-marin à l'aide d'un ou de plusieurs instruments (hydrophones) sur de longues durées, de traiter et caractériser l'origine des sons et d'en extraire des informations sur le paysage sonore sous-marin, notamment la présence de cétacés.

Toute une chaîne d'analyse et de traitement des données sonores. Plusieurs étapes d'analyses sont nécessaires pour extraire les informations importantes : l'analyse des niveaux de bruit, l'identification manuelle puis automatisée des données larges bandes (signature sonore des cétacés), avant les étapes statistiques de mise en forme des résultats.

Laboratoire Lab-STICC (équipes M3).
Contact : flore.samaran@ensta-bretagne.fr

AMPLIFIER LE TRAITEMENT DES DONNÉES SUR LA NATURE DES FONDS MARINS

Thèse ENSTA Bretagne / Université de Bath soutenue par Irène MOPIN (financement AID-DGA et DSTL) et nouveau projet SeabAid avec le Shom (financement AID-DA).



La carte marine de navigation est composée de diverses indications topographiques et d'informations sur la nature des fonds (sable, vase, roche...), qui sont mesurées par le son : un sonar, ou sondeur, envoie un signal sonore vers le fond et enregistre son écho. L'information contenue dans cet écho permet de déduire les caractéristiques acoustiques du fond sondé, un paramètre qui est de plus en plus employé en hydrographie et dans des disciplines connexes (sédimentologie, géomorphologie...). À l'interface entre théorie acoustique (modélisation), pratique (mesure en mer) et cas d'utilisation (cartes, recherches en mer), la thèse d'Irène a abouti à une méthode d'estimation précise de la réponse du fond et de son incertitude.



Dans la continuité de cette thèse, un second projet de recherche, **SeabAid**, a débuté, en collaboration avec le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (Shom), porté par l'institut IngéBlue. Le besoin du Shom et d'autres organismes hydrographiques, est d'extraire ces informations de réflectivité, qui renseignent sur la nature des fonds, de la grande quantité de données recueillies lors des campagnes en mer. Ce traitement est d'autant plus sous-exploité qu'il devrait être fait avec une précision et une incertitude contrôlée, en accord avec la norme hydrographique internationale (OHI-S44). Le projet vise donc à disposer d'outils méthodologiques déployables à grande échelle pour traiter les données de réflectivité issues des sondeurs multifaisceaux tout en sachant évaluer l'incertitude.

Laboratoire Lab-STICC (équipes M3, ROBEX, MATRIX).
Contacts : irene.mopin@ensta-bretagne.fr,
gilles.le_chenadec@ensta-bretagne.fr

OBSERVER, DÉTECTER, DÉCRIRE

#SANTÉ #IMAGERIE

DÉTECTER UNE THROMBOSE VEINEUSE PROFONDE

Une équipe du Labsticc, en collaboration avec le CHU de Brest, développe de nouveaux modèles d'apprentissage profond pour la détection automatique et la caractérisation de maladies cardiovasculaires et auto-immunes.

L'imagerie médicale par ultra-sons, appelée échographie, se développe. Elle permet de repérer la présence d'anomalies caractéristiques de certaines maladies cardiovasculaires ou auto-immunes. Depuis plusieurs années, l'équipe d'Ali Mansour collabore avec le CHU de Brest pour améliorer l'analyse d'images à l'aide d'algorithmes toujours plus performants.

Dans le cadre de sa thèse, Aurélien Olivier s'est penché sur deux maladies potentiellement détectables par échographie : la thrombose veineuse profonde pouvant générer une embolie pulmonaire, et le syndrome de Gougerot-Sjögren, qui est une anomalie du fonctionnement des glandes salivaires. Pas toujours faciles à observer pour l'œil humain, l'objectif a été de mettre au point des algorithmes capables de les reconnaître.

Bien définir les paramètres en entrée est une partie importante du travail. Pour que l'algorithme puisse reconnaître automatiquement une anomalie, il est nécessaire de lui enseigner à la reconnaître. Pour cela, il doit pouvoir extraire certaines caractéristiques cachées dans l'image et les associer à l'anomalie recherchée. Ensuite plusieurs techniques d'IA sont utilisées : apprentissage automatique (machine learning) et profond (deep learning).

*Thèse soutenue par Aurélien OLIVIER
Laboratoire Lab-STICC (équipe SI3).
Contact : ali.mansour@ensta-bretagne.fr*

DÉFENSE #GUERRE_ÉLECTRONIQUE

SÉPARER LES ONDES RADAR GRÂCE AUX TECHNIQUES D'IA

De plus en plus d'applications civiles et militaires utilisent le spectre électromagnétique, ce qui crée un brouhaha d'ondes difficiles à repérer et à identifier. Pour y arriver, ENSTA Bretagne collabore avec Thalès pour améliorer les algorithmes de reconnaissance à l'aide des nouvelles techniques IA d'apprentissage automatique.

Aujourd'hui, massivement utilisées, les ondes électromagnétiques du domaine radio (3kHz à 300 GHz), signaux de faibles puissances, sont de plus en plus complexe à détecter. Leur dissimulation est d'ailleurs l'un des aspects recherchés dans le cadre de la guerre électronique.

L'objectif est de réussir à pister chaque forme d'onde dans le temps et l'espace. Le récepteur doit réussir à séparer une superposition d'ondes enchevêtrées, c'est l'étape dite de « désentrelacement » des ondes radar. Pour l'assurer des algorithmes performants existent aujourd'hui, toutefois limités dans certaines situations, lorsque la densité des émissions augmente ou dans le domaine naval. Tout l'enjeu de la thèse de Louis Lesieur a été de réussir à automatiser l'ensemble des étapes de reconnaissance et d'identification des signaux radars afin de développer des algorithmes plus rapides et plus performants.

*Thèse soutenue par Louis LESIEUR
(CIFRE Thales, GIS Cormorant).
Laboratoire Lab-STICC (équipe PIM).
Contact : ali.khenchaf@ensta-bretagne.fr*

DÉFENSE #GUERRE_ÉLECTRONIQUE

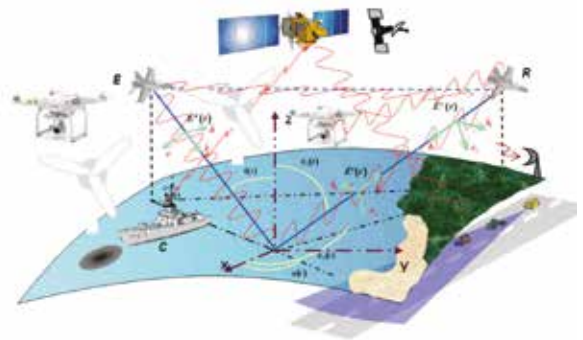
DÉTECTER ET ANTICIPER LES MENACES ÉLECTROMAGNÉTIQUES GRÂCE À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Les innombrables besoins militaires et civils sont à l'origine d'un foisonnement de signaux au sein du spectre électromagnétique (téléphonie, radars, satellites...). L'écoute du spectre et la détection de menaces fait partie des enjeux majeurs de la "guerre électronique" pour la protection de zones stratégiques.

Le spectre radio étant très large (3kHz à 300GHz), écouter simultanément l'ensemble des fréquences est très complexe et onéreux. C'est pour relever ce défi que le projet MUSHA (MULTi-capteurs SuperHétérodyne Agiles) a été mis en oeuvre, porté par ENSTA Bretagne en collaboration avec la société Safran. L'objectif est de réussir à observer exclusivement les portions du spectre où les émetteurs d'intérêt sont actifs, et ce de manière dynamique et automatique.

Des algorithmes innovants d'IA sont ainsi envisagés pour détecter et anticiper la présence d'émetteurs dans l'environnement proche, et reconnaître les potentielles menaces. Les techniques développées doivent prendre en compte des environnements complexes, comme les milieux maritimes ou urbains, ainsi que des menaces de plus en plus complexes et furtives comme les drones à usage militaire.

- *Durée du projet : 4 ans (2022-2025)*
 - *Budget : 2 M€, financé par l'Etat (appels à projets RAPID opérés par l'AID)*
 - *Piloté par SAFRAN Electronics&Defense (Syrlinks), spécialisée dans les systèmes optroniques, avioniques et électroniques*
 - *Partenaires : ENSTA Bretagne, Lab-STICC (équipe PIM)*
- Contact : ali.khenchaf@ensta-bretagne.fr*



ARCHITECTURES LOGICIELLES

FÉDÉRER DIVERSES SOURCES D'INFORMATION POUR CRÉER DES MODÈLES COMPLEXES

En collaboration avec l'UBO et IMT Atlantique, l'équipe a mis au point Openflexo, une plateforme collaborative permettant la « composition » de modèles.

Cette fédération de modèles présente de nombreux atouts pour l'industrie 4.0 tels que l'élaboration de jumeaux numériques.

Pour concevoir, comprendre, calculer, analyser et communiquer, l'être humain utilise la modélisation.

Chaque modèle est une représentation simplifiée de la réalité pour répondre à un problème complexe. Le modèle peut être une carte, un écrit, une équation physique etc. Il est ainsi toujours défini par une source d'information. Dans le monde informatique, ces sources d'information

peuvent être des documents issus d'outils de traitement de texte (Open Office, PDF, XML), de bases de données etc.

Au niveau de l'ingénierie, la branche dite « dirigée par les modèles » (IDM) repose sur l'utilisation systématique de modèles dans toutes les tâches liées au cycle de vie des systèmes et des logiciels. La construction d'un avion peut ainsi être comprise comme la combinaison de modèles pour la commande de vol, le nombre de sièges etc. Seulement, pour obtenir in fine un avion, il est nécessaire que les divers modèles se comprennent entre eux et soient donc inter-opérables. Le tout de façon automatique.

Des modèles inter-opérables

C'est dans ce cadre qu'intervient la thèse de Sylvain Guérin, réalisée au sein d'IMT Atlantique et d'ENSTA Bretagne. « Nous avons développé un langage de modélisation, appelé FML, qui permet de décrire les liens entre différentes sources de données et leur évolution, explique le chercheur. Appelée fédération de modèles, cette méthode nous a permis de créer un langage sémantique commun. Ce langage a ensuite été intégré à Openflexo, une plateforme logicielle en ligne collaborative. Elle fédère diverses sources d'information pour l'élaboration de nouveaux modèles. La fiabilité de l'outil a été testé auprès d'équipes de recherche et d'entreprises. ».

*Thèse soutenue par Sylvain GUERIN.
Laboratoire Lab-STICC (équipe P4S).
Contact : joel.champeau@ensta-bretagne.fr*



OPTIMISER LE CLOUD

#CLOUD_COMPUTING #DDRS

ORCHESTRATION DE RESSOURCES HÉTÉROGÈNES POUR LE CLOUD

En 1961, John McCarthy, alors professeur au MIT, imagine que le partage du temps de calcul des ordinateurs permettrait de vendre leur usage comme un service, à l'image de l'eau ou de l'électricité.

Cette vision se concrétise à la fin des années 2000, poussée par la démocratisation de l'accès à Internet à très haut débit : c'est l'avènement du cloud computing. Dès lors, les entreprises qui souhaitent exécuter du calcul à haute performance ou déployer une application sont libérées du besoin de gérer une infrastructure numérique en propre : grâce à un système de réservation de ressources matérielles, des fournisseurs de services allouent une partie de la puissance de calcul totale de leurs centres de données à leurs clients, sous la forme de serveurs virtuels.

Ce modèle de service répond à un besoin de compromis entre coût et performances. Toutefois, la granularité offerte par ce type d'offre encourage des comportements de surréservation. Aujourd'hui, on estime que plus de la moitié des ressources matérielles dans le cloud sont essentiellement dormantes : les infrastructures sont dimensionnées pour absorber d'importants pics de charge. C'est pour cela qu'un nouveau modèle de service, appelé serverless, a émergé ces dix dernières années.

L'idée ici est de laisser au fournisseur de services la responsabilité de l'allocation dynamique des ressources louées à ses clients, au plus proche des besoins réels de leurs applications. C'est un challenge en matière de qualité de service, car il faut déterminer ces besoins, fortement disparates, de manière satisfaisante. Mais c'est aussi une opportunité en matière de consommation énergétique : une optimisation parfaite des allocations permettrait d'éviter tout gaspillage d'énergie pour des ressources dormantes.

Ces problématiques ont donné lieu à une thèse durant laquelle nous avons proposé des algorithmes d'optimisation à destination des fournisseurs de service, en particulier dans le cloud privé. Nous avons caractérisé le comportement d'un système de détection d'intrusions, et proposé une politique d'allocation serverless pour déployer cette application à l'edge, où les ressources matérielles sont fortement contraintes par la disponibilité de l'énergie. En s'appuyant sur la grande hétérogénéité des ressources matérielles, et en plaçant judicieusement les tâches utilisateur sur les plateformes les plus adaptées à leurs besoins, nous montrons qu'il est possible de s'affranchir de 80% de l'infrastructure à niveau égal de qualité de service.

*Thèse conduite par Vincent LANNURIEN avec l'IRT b<com
Laboratoire Lab-STICC (équipe SHAKER)
Contact : jalil.boukhobza@ensta-bretagne.fr*

SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

L'ÉQUIPE DE RECHERCHE FORMATION ET PROFESSIONNALISATION DES INGÉNIEURS (FPI)

Rattachée au laboratoire multi-tutelles FoAP (Formation et Apprentissages Professionnels), seul laboratoire dédié à la formation professionnelle et à la formation des adultes en France, l'équipe FPI contribue à un réseau de chercheurs sur les questions de formation au sens large : formation professionnelle initiale, enseignement supérieur, formation tout au long de la vie, apprentissages dans l'activité, parcours personnels et professionnels.

Laboratoire de sciences humaines et sociales
EA 7529 - foap.cnam.fr
106 membres dont 40 doctorants de 3 établissements (ENSTA Bretagne, CNAM Paris, AgroSup Dijon).



3 THÉMATIQUES

Transformation des pratiques d'ingénierie autour des principes d'innovation responsable et de développement durable

Processus d'innovation (défense et industrie navale)

Analyse et conception de dispositifs de formation

FORMER À L'INNOVATION RESPONSABLE

et études sur les futurs ingénieurs de la défense et ingénieurs de la mer

En partenariat avec les acteurs du monde professionnel et académique (CINAV, AID, IRT B-Com, ISBlue...), les chercheurs observent les évolutions de l'ingénierie navale et militaire, et les effets des injonctions actuelles à l'innovation responsable et au développement durable sur les entreprises, les métiers, les formations et, plus largement, la société.

Des contrats de recherche en cours visent ainsi à comprendre :

- pourquoi le secteur naval peine parfois à recruter (ATTRANAV),
- comment se font les innovations de défense au sein des forces (MARINOV)
- et comment accompagner les entreprises dans leurs transitions écologiques et numériques (SHARE)...

CONTACT :

marieke.stein@ensta-bretagne.fr

ÉCHELLES ET MÉTHODES DE RECHERCHE

Au sein du collectif EPSI¹, l'équipe de recherche FPI ENSTA Bretagne (FoAP) a organisé une journée d'étude avec des chercheurs de laboratoires comme le CIREL et CoSTECH, soit une cinquantaine de participants.

Elle portait sur les questions méthodologiques qui se posent quand on étudie les parcours et formations des ingénieurs, concernant en particulier les échelles d'investigation et les

niveaux d'analyse. Comment délimiter un périmètre de recherche approprié alors même que le sujet concerne des dizaines d'acteurs différents, avec chacun de multiples enjeux, objectifs et contraintes différentes ? Dans le cadre du grand défi planétaire qu'est la transition écologique, les questions sont partagées au niveau international mais les réponses se construisent avant tout sur des espaces plus circonscrits. Ou comment intégrer le « penser global et agir local » dans les méthodes de recherche.

1 > Le collectif EPSI (Etudes Pluridisciplinaires Sur l'Ingénierie), fondé en 2020, réunit des chercheuses et chercheurs francophones (France, Belgique, Suisse, Québec, Algérie, Maroc) issus de plusieurs disciplines des sciences humaines et sociales (sociologie, philosophie, histoire, sciences de l'éducation...) dont les recherches se concentrent sur l'ingénierie. epsi.hypotheses.org

FÉMINISATION DES ÉCOLES D'INGÉNIEURS OFFICIERS DES ARMÉES

Thèse soutenue par Julie Nolland

Cette thèse s'intéresse aux raisons qui expliquent les freins à la féminisation des effectifs en écoles d'ingénieurs des armées et aux leviers possibles d'amélioration.

J. Nolland : « Dans ces parcours de formation majoritairement masculins, je me suis attachée à comprendre de l'intérieur, à partir des expériences de celles qui les vivent, comment les rapports sociaux de sexe traversent les pratiques d'enseignements et perpétuent des inégalités de genre. Cela m'a permis

de compléter les travaux sur l'effet « rôle modèle » en m'intéressant à des dispositifs d'égalité dans les sciences auxquels participent des élèves ingénieurs ENSTA Bretagne de 1ère année.

Pour les étudiantes qui s'y engagent, ces dispositifs ont un caractère transformateur : elles sont vues comme expertes, figures d'autorité, dispensatrices de savoirs scientifiques, ce qui joue positivement sur leur estime de soi et renforce leur légitimité. L'analyse de cet engagement met en évidence des dynamiques identitaires. Cela fait sens pour les individus engagés. »

Directrice de publication :
Ingrid Le Toutouze
Équipe de rédaction :
Ingrid Le Toutouze,
Nadège Le Clainche,
Marie Hilary
Illustration : Guillaume Denaud
Photos : ENSTA Bretagne
et Julien Ogor (studio Lambé)
Mise en page : Alexis Chenal
Impression : Cloître imprimeur

Date de publication : juin 2024
Dans le cadre de notre démarche RSE, ce document est imprimé en série limitée, sur du papier PEFC (gestion durable des forêts), avec des encres végétales.