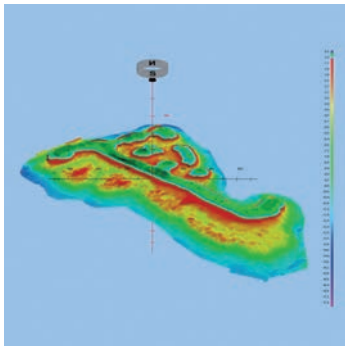
ENSTA Bretagne

Cursus d'application des Polytechniciens



Cursus d'application **en Hydrographie**

Ingénieurs de l'Armement

Ecole Nationale Supérieure de **Techniques Avancées** Bretagne
www.ensta-bretagne.fr

[Hydrographe ENSTA Bretagne **la formation de référence**]

ENSTA Bretagne EN BREF

- Grande école d'ingénieurs et centre de recherche pluridisciplinaires
- Établissement public sous tutelle de la DGA
- Vaste campus brestois
- 780 étudiants
- 80 doctorants

LA RECHERCHE, point d'appui de FORMATIONS D'EXCELLENCE

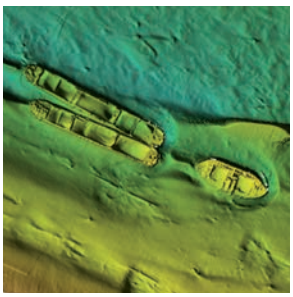
- En sciences mécaniques des matériaux, des fluides et des structures >>> le laboratoire LBMS et la chaire dédiée aux EMR
- En technologies de l'information et de la communication >>> le laboratoire lab-STICC et les chaires avec Thales (Clapot, Calipso) et iXBlue (Sparte)
- En sciences humaines et sociales >>> au CRF (centre de recherche sur la formation, avec le CNAM, Centrale Paris...).

> NOS PARTENAIRES ACADÉMIQUES, TECHNOLOGIQUES ET EMPLOYEURS

- **Services hydrographiques nationaux :** SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, France), BSH (Allemagne), HKN (Pays-Bas), UKHO, CHS (Canada)
- **Sociétés de dragage :** Boskalis, DEME, Van Oord, Jan de Nul
- **Sociétés d'études hydrographiques (Survey) :** Netsurvey, IXSurvey Deep Bv, Fugro
- **Offshore :** Technip, Saipem, Subsea7
- **Sociétés de développement des technologies hydrographiques :** iXBlue, CARIS
- **Production d'énergie hydroélectrique :** EDF (fr), CNR (fr), Hydro Québec
- **Ports** de France, Rotterdam Port Authority...
- **Universités :** ENSG (Ecole Nationale des Sciences Géographiques, fr) Ghent University, Hafencity University (Hamburg), UQAR (Université du Québec à Rimouski), Cidco (Centre Interdisciplinaire de Développement en Cartographie des Océans, Québec)

[L'ENSTA Bretagne dispense **la plus importante formation d'hydrographie d'Europe et l'une des plus prestigieuses au monde**.
Elle est accréditée au plus haut niveau, de catégorie A, par l'organisation hydrographique internationale (FIG-OHI-ACI).]

ENSTA Bretagne diplôme chaque année 25 à 30 hydrographes de catégorie A. C'est la formation recommandée pour les IA qui souhaitent exercer au SHOM.



[Les **Cours**]

Module de pré-requis en topométrie (30 h, intervenants : ENSTA Bretagne)

Bathymétrie (60 h, intervenants : ENSTA Bretagne)

Ce module a pour objectif de décrire les propriétés physiques des ondes acoustiques sous marines ainsi que les systèmes de sondage par moyens acoustiques et leurs contraintes opératoires. Il apporte à l'étudiant les compétences lui permettant de choisir, mettre en œuvre et valider les données obtenues à partir d'une sonde acoustique, de façon à rester dans des limites de précisions données.

Les principales notions abordées dans ce module sont les suivantes : Généralités sur les sondeurs acoustiques (architecture générale, principaux types de sonar) ; Equations générales de l'acoustique en milieu homogène et hétérogène ; Transducteurs ; Antenne ; Principe de la formation de voie ; Spécificités du milieu marin ; Propagation acoustique ; traitement du signal pour le sonar ; Equation du sonar ; systèmes de sonar (Sondeur mono faisceau, multifaisceau, Sonar latéral , sondeur de sédiments) ; Calibration d'un sondeur ; Transpondeurs, pinger acoustiques ; Positionnement acoustique ;

Hydrographie - Marée (60 h, intervenants ENSTA Bretagne et extérieurs)

La première partie de ce module est consacrée à l'hydrographie. Elle décrit les différents types de levé hydrographique : portuaire, aménagement littoral, inspection, dragage, hauturier. Les spécificités de chaque application sont décrites à travers leurs spécifications, planification et délivrables. A l'issu de ce module, les étudiants sont capables : de préparer un levé et répondre aux spécificités d'une application donnée ; de décrire le processus de géo localisation de n'importe quel système de cartographie ; d'identifier les différentes sources d'erreurs ; d'estimer les incertitudes a priori des mesures ; de décrire les systèmes de positionnement SBL, USBL et LBL, calculer les incertitudes de positionnement de chaque système, calibrer ces différents systèmes.
La seconde partie de ce module est consacrée à l'étude de la marée. Après une présentation générale de la marée et des phénomènes qui en sont à l'origine, ce module est axé sur les méthodes d'analyse du signal de marée. Les étudiants sont amenés à mettre en pratique les méthodes harmoniques et non harmoniques afin d'être en mesure de faire des prédictions de marée pour la préparation d'un levé hydrographique quelles que soient les données qui leur sont fournies au préalable.

[Équipements]

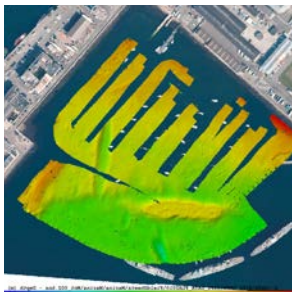
> LA PANOPÉE : la vedette hydrographique ENSTA Bretagne

C'est un catamaran Cheetah Marine de 6,9m. Parfaitement équipé, les étudiants l'utilisent pour la pratique des levés hydrographiques au large de Brest. Elle est complétée d'un véhicule amphibie.

> Exemples d'équipements et sondeurs :

- Multibeam RESON 8101,
- Tritech 600khz/1.2Mhz mechanical profiler,
- Magellan RTK GPS,
- GPS compass
- Leica Total Stations TS06
- Terrestrial Laser Scanner Leica HDS6200
- iXBlue Octans 4, iXBlue landins
- RDI current meter,
- Tritech side scan sonar,
- CTD gauges
- Aandera tides gauges

Les dernières technologies sont utilisées en cours vec le soutien de nombreux partenaires : iXBlue, R2SONIC, Boskalis...



Géodésie – Positionnement (60 h, ENSTA Bretagne et SHOM)

Ce module est dédié à la géodésie (qui est la science qui étudie les dimensions et la forme de la Terre), aux techniques d'ajustement par moindres carrés et au positionnement. Le module commence par introduire la trigonométrie sphérique, les mesures d'angles et de distance, les méthodes de triangulation. Il présente ensuite les principes fondamentaux de la géodésie ellipsoïdale ainsi que les systèmes de coordonnées de référence. Les projections (cylindriques et coniques) sont décrites ainsi que leurs propriétés. Les transformations permettant de passer entre les différents repères géodésiques sont détaillées. Les techniques d'ajustement notamment celles basées sur les techniques d'optimisation par moindres carrés sont présentées. L'introduction à la technique des moindres carrés ordinaire est suivie d'une analyse statistique de ses solutions, une présentation du traitement des équations d'observation non linéaires et l'intégration de contraintes. L'ajustement d'un hyper plan par la technique des moindres carrés non linéaires est traité et sa résolution par décomposition en valeurs singulières présentée. La troisième partie du module est consacrée aux techniques de positionnement par GNSS. Elle commence par introduire les systèmes GNSS puis décrire les observations. Le cours s'achève avec une mise en pratique de ce système (acquisition et traitement des mesures).

Cartographie (45 h, SHOM)

Ce module décrit l'ensemble des techniques inhérentes à la production de cartes marines sous forme papier ou numérique (ENC). Ce module commence par rappeler les principes généraux de production des différentes catégories de cartes marines. Les différentes notions abordées par ce module sont les suivantes : détermination de l'échelle d'une carte, catalogue de cartes, spécification d'une carte, présentation d'une carte dans la norme hydrographique internationale, comparaison de cartes, utilisation de symboles, généralisation de cartes, qualité des données, mise à jour des cartes, production des cartes marines, publication des cartes, description du système GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System), bases de données hydrographiques, techniques d'impression, diffusion de l'information nautique.

Droit de la mer (15 h, UBO)

Ce module présente les éléments essentiels en matière de réglementation maritime. L'historique de l'évolution des règles d'utilisation de l'espace droit de la mer sert d'introduction. Il aborde ensuite les notions suivantes : convention, délimitations maritimes, souveraineté des états en mer, états archipels, détroits, délimitation du plateau continental, frontières entre états adjacents ou se faisant face, responsabilité juridique des hydrographes, accidents maritimes en relation avec les documents nautiques.

Projet terrain (60 h, ENSTA Bretagne et extérieurs)

Ce projet se compose d'une période de deux semaines consécutives sur le terrain suivie de travaux effectués en laboratoire au cours desquels les élèves exploitent les données recueillies sur le terrain. Leur analyse fait l'objet d'un rapport écrit et d'une soutenance orale.
Depuis 2011, le projet de terrain se déroule sur le lac de Vassivière (dans la Creuse) dans le cadre d'un projet Intensif ERASMUS. Ce projet européen mené conjointement avec les universités de Gent et Hambourg, permet aux étudiants de se focaliser sur différents problèmes liés à l'acquisition de données bathymétriques, sédimentologiques, océanographiques ou topométriques.

Positionnement (60 h, ENSTA Bretagne)

Ce module décrit les différentes technologies inertielles utilisées pour le positionnement en mer, les mesures de pilonnement et d'attitude d'un porteur. Il se focalise plus particulièrement sur les accéléromètres, les gyroscopes et inclinomètres. Il présente dans une seconde partie différentes techniques d'estimation, d'hybridation et de fusion de capteurs. Les notions suivantes sont traitées : contrôle optimal linéaire et filtrage optimal statistique linéaire, lisseurs, introduction aux observateurs non linéaires.

Traitement des données bathymétriques (60 h, ENSTA Bretagne)

Ce module approfondit l'ensemble des étapes qui composent le traitement des données bathymétriques. Il comporte des aspects à la fois théoriques et pratiques s'appuyant sur le contrôle qualité des données multifaisceaux.

>>> A l'issu du module, les étudiants sont capables de : rassembler toute l'information nécessaire au processus de traitement des données bathymétriques ; détecter, analyser et identifier les erreurs systématiques présentes dans les données ; valider manuellement et automatiquement les données ; qualifier un levé bathymétrique par rapport à la norme hydrographique ; sélectionner un interpolateur spatial ; rédiger un rapport de levé.

Le module commence par introduire la bathymétrie en confrontant l'état des connaissances aux besoins actuels. Le contexte du traitement des données bathymétriques multifaisceaux est amené en présentant l'historique des systèmes d'acquisition ainsi que l'ensemble des techniques d'acquisition de la bathymétrie actuellement utilisées (autres qu'acoustiques). La partie introductive du module s'achève avec la description des capteurs qui composent le système. Les connaissances fondamentales nécessaires à la détermination et la localisation des sondes sont fournies. Le traitement des données bathymétriques est présenté dans le contexte de la norme hydrographique. Les notions suivantes sont abordées : classification d'un levé bathymétrique, facteurs qualité des données d'un levé, estimation a priori de la qualité des données. Les spécificités du traitement sont détaillées en prenant pour exemple les traitements journaliers effectués à bord des navires. La description des différentes étapes composant le traitement des données est ensuite présentée. Elle sert de fil conducteur au module qui se focalise successivement sur la détection et l'identification d'erreurs systématiques puis la validation manuelle et automatique des données bathymétriques. L'objectif du traitement des données bathymétriques est de fournir une description des fonds marins (modèle de terrain et lots de sondes validées) ainsi qu'une estimation de la qualité des rendus. Le module présente les principales techniques d'interpolation spatiales et fournit les éléments nécessaires à leur sélection. Les techniques décrites sont les suivantes : IDW, Triangulation, Voisins naturels, Splines, Surface de tendance, Krigeage. Pour finir, les éléments nécessaires à la description synthétique d'un levé bathymétrique sont présentés. Les notions suivantes sont abordées : estimation a posteriori de l'incertitude des sondes, contrôle qualité des modèles numériques de terrain, représentation des données bathymétriques, rapport de levé.

Gestion des données hydrographiques (60 h, ENSTA Bretagne et IUEM)

L'objectif de ce module est de présenter les notions indispensables à la gestion des données hydrographiques en introduisant les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les concepts, les algorithmes et méthodes de mise en forme et d'exploitation des données vectorielles et rasters sont détaillées à travers l'utilisation des deux SIG que sont GRASS et Quantum GIS. Ces différentes notions sont abordées au travers de nombreux exemples issus pour partie des acquisitions effectuées par les étudiants eux-mêmes lors de projets terrain. Les notions abordées dans ce module sont les suivantes : stratégies d'échantillonnage, enveloppes d'une surface (convex hull, alpha shape), compression et simplification de données vectorielles ou raster, estimation de l'incertitude (simulation de Monte Carlo), description d'un modèle de base de données géographiques.

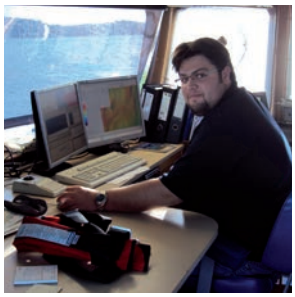
La seconde partie de ce module permet aux étudiants de se confronter à l'ensemble des étapes composant un projet SIG : l'inventaire des informations disponibles (données in situ acquises par l'étudiant et données extérieures), la définition d'un modèle de données, la gestion de ces données (représentation, requêtes..).

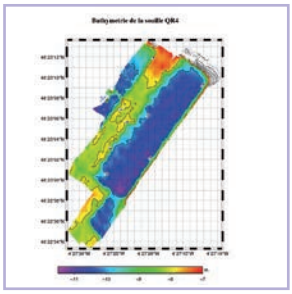
Océanographie physique descriptive (30 h, ENSTA Bretagne, IFREMER)

Ce module a pour objectif de décrire les propriétés physiques des océans et les mouvements des masses d'eau. Il commence par décrire l'historique de l'océanographie et montre quelques exemples de travaux récents. Il aborde ensuite les notions suivantes : les propriétés physiques des océans, la circulation générale de surface ainsi que la circulation thermohaline. Il décrit ensuite la dynamique d'un fluide en rotation et la géostrophie en définissant les forces importantes en océanographie physique, l'équation de continuité ainsi que l'équation de mouvement (Navier-Stokes) et la réponse océanique au forçage du vent (transport d'Ekman). Pour finir, il présente les caractéristiques du couplage océan / atmosphère avec les notions de rayonnement solaire, de dynamique générale de l'atmosphère, des ondes de Rossby et des ondes topographiques.

Météorologie (20 h, METEO FRANCE)

Ce module présente le système international des services météorologiques en mer : l'acquisition et la diffusion des données météo, l'organisation météorologique mondiale, Météo France. Il décrit l'atmosphère : sa composition, sa structure verticale, les paramètres météorologiques, les impacts sur les opérations maritimes (température de l'air, humidité, pression atmosphérique). Il présente les différents types de brouillards, de nuages, d'orages, de grêle, de tornades ainsi que les relations entre la pression et flux atmosphériques : vent géostrophique, vent réel sur l'océan, effet de friction. Il se focalise sur les prédictions marines et l'interprétation des rapports et cartes météorologiques : analyse des cartes de surface, prédiction des directions et force du vent à partir des cartes ou des abaques. Il aborde les notions suivantes : la circulation atmosphérique générale (température de l'air, température à a surface de la mer, distribution des profils verticaux, flux atmosphérique, l'influence des continents et des saisons), les phénomènes météorologiques de moyenne échelle (influence du terrain, brise, vents locaux), les masses d'air (frontogénèse cyclogénèse, cyclones extratropicaux), les phénomènes tempétueux exceptionnellement violents (nouvelles théories météorologiques, types de situations météorologies et de nuages à partir de cartes ou d'observations).





Géophysique – hydrodynamique sédimentaire (60 h, SHOM et IFREMER)

Ce module traite de la description des champs de gravité et magnétique terrestres. La première partie est consacrée à la description du champ de gravité : mesures, contrôle et modélisation. Il se focalise ensuite sur le rôle joué par le champ de gravité en hydrographie en insistant plus particulièrement sur les modèles globaux de prédiction de la bathymétrie à partir des données altimétriques. Il présente les gravimètres embarqués à bords des navires ainsi que les méthodes mises en œuvre pour traiter ces mesures. La seconde partie du module décrit le champ magnétique terrestre ainsi que les techniques de correction des mesures à partir d'enregistrements réalisés par des stations d'observation. Il définit l'origine dipolaire du champ, les anomalies magnétiques. Il analyse les différentes techniques de visualisation de ce champ.

Le module d'hydrodynamique sédimentaire décrit successivement : l'approche géomorphologique, le forçage hydrodynamique, la rhéologie des sols, les stratégies de modélisation et la morpho-dynamique. L'approche géomorphologique d'un site décrit les équipements d'échantillonnage, depuis le prélèvement, le stockage et l'analyse des échantillons. Il introduit également les concepts de base des études d'impact environnemental ainsi que liste d'applications. La partie du module consacrée au forçage hydrodynamique décrit les processus de transport et de dépôt des sédiments, aussi bien le processus normal des zones fluviales que les points focaux de dépôt. Il décrit les techniques de dispersion des déblais ainsi que la sélection des zones de déblais. Pour finir, il présente les caractéristiques des sédiments cohésifs et non cohésifs.

Ce module est dédié à la géodésie (qui est la science qui étudie les dimensions et la forme de la Terre), aux techniques d'ajustement par moindres carrés et au positionnement. Le module commence par introduire la trigonométrie sphérique, les mesures d'angles et de distance, les méthodes de triangulation. Il présente ensuite les principes fondamentaux de la géodésie ellipsoïdale ainsi que les systèmes de coordonnées de référence. Les projections (cylindriques et coniques) sont décrites ainsi que leurs propriétés. Les transformations permettant de passer entre les différents repères géodésiques sont détaillées. Les techniques d'ajustement notamment celles basées sur les techniques d'optimisation par moindres carrés sont présentées. L'introduction à la technique des moindres carrés ordinaire est suivie d'une analyse statistique de ses solutions, une présentation du traitement des équations d'observation non linéaires et l'intégration de contraintes. L'ajustement d'un hyper plan par la technique des moindres carrés non linéaires est traité et sa résolution par décomposition en valeurs singulières présentée. La troisième partie du module est consacrée aux techniques de positionnement par GNSS. Elle commence par introduire les systèmes GNSS puis décrire les observations. Le cours s'achève avec une mise en pratique de ce système (acquisition et traitement des mesures).

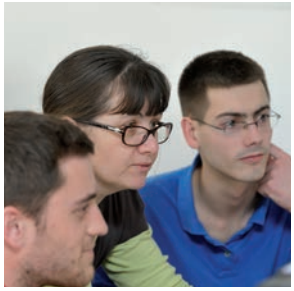
Géologie – sédimentologie (10 h, ENSTA Bretagne)

Ce module introduit la notion de temps en géologie et les phénomènes de glaciations. Il décrit ensuite la tectonique des plaques et présente les phénomènes à l'origine de la formation des fonds océaniques. La seconde partie du module est consacrée à la sédimentologie. Il présente les différents types de sédiments, les techniques mises en œuvre lors de levés sédimentologiques. Pour finir, il présente les processus sédimentaires liés à la dynamique des dunes de sable.

Projet terrain : levé hydrographique (120 h, ENSTA Bretagne)

Le projet de levé hydrographique permet aux étudiants de confronter leurs connaissances théoriques au terrain. Ce projet se compose de cinq étapes : préparation du levé à partir des spécifications, acquisition des mesures en mer, traitement des données, exploitation des données, fourniture des données.

Ce projet de levé hydrographique s'appuie sur des travaux dirigés et des travaux de terrain qui sont réalisés par des groupes de 3-4 étudiants. L'ensemble des capteurs acoustiques disponibles à l'école (sondeur monofaisceau, multifaisceau, sonar latéral) est successivement mis en œuvre par chaque groupe d'étudiants. Bien que les différentes phases du projet soient encadrées par les enseignants, le module favorise le travail en autonomie en développant l'esprit d'initiative, la prise de décision et le travail en équipe.



> Ingénieur de l'Armement en hydrographie au SHOM

Héritier du premier service hydrographique officiel au monde (1720), le SHOM est un établissement public administratif sous tutelle du ministère de la défense. Il a pour mission de connaître et décrire l'environnement physique marin dans ses relations avec l'atmosphère, avec les fonds marins et les zones littorales, d'en prévoir l'évolution et d'assurer la diffusion des informations correspondantes. Les ingénieurs de l'armement y occupent des fonctions de recherche, de direction de programme d'étude et de direction générale.

Ils contribuent aux trois activités primordiales du SHOM :

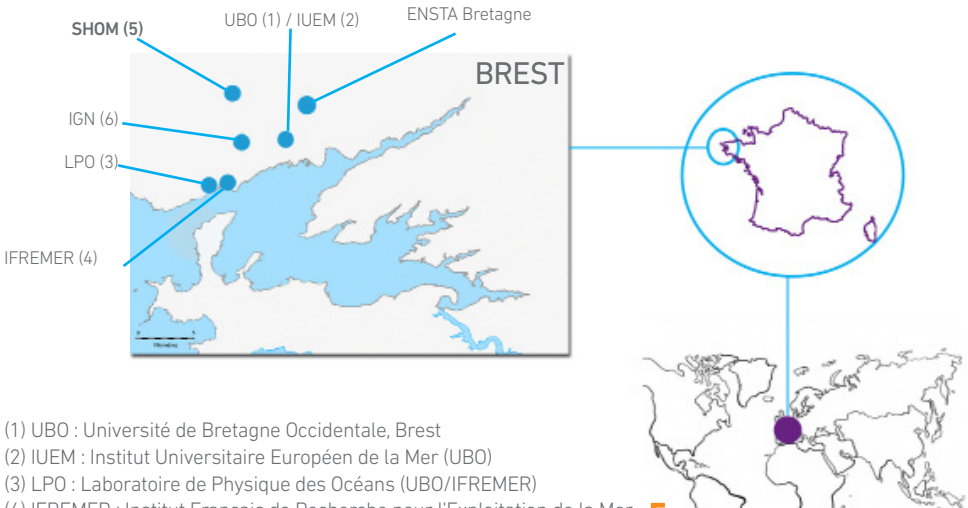
• l'hydrographie nationale, pour satisfaire les besoins de la navigation de surface pour tous les usagers de la mer, dans les eaux sous juridiction française et dans les zones placées sous la responsabilité cartographique de la France ;

• le soutien de la défense, caractérisé par l'expertise hydro-océanographique apportée à la DGA et par les capacités de soutien opérationnel du SHOM aux forces ;

• le soutien aux politiques publiques de la mer et du littoral : délimitations et frontières maritimes, référent national pour le niveau de la mer, participation aux réseaux d'alerte (tsunamis,...), contribution à la vigilance vagues-submersion avec Météo-France, constitution du référentiel géométrique du littoral avec l'IGN (Litto3D®)...

La marine nationale met à la disposition du SHOM 5 navires spécialisés : le bâtiment hydro-océanographique Beautemps-Beaupré, le navire océanographique Pourquoi pas ?, et trois bâtiments hydrographiques : le Borda, le Laplace, Le La Pérouse.

> ENSTA Bretagne et le pôle d'excellence maritime brestois



(1) UBO : Université de Bretagne Occidentale, Brest
(2) IUEM : Institut Universitaire Européen de la Mer (UBO)
(3) LPO : Laboratoire de Physique des Océans (UBO/IFREMER)
(4) IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
(5) SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
(6) IGN : Institut National Géographique

[20 experts et enseignants chercheurs en hydrographie interviennent dans la formation]

> ENSTA Bretagne

[1819]
Création des écoles des arsenaux de la Marine pour la formation en architecture navale

[1971]
Création de l'ENSIETA

[1990]
Ouverture du concours aux élèves civils

[1992]
Début des activités de recherche

[2007]
Obtention de la certification ISO 9001 : 2000 pour toutes les activités

[2010]
Ouverture des cursus d'application en architecture navale, pyrotechnie et hydrographie pour les Ingénieurs de l'Armement

[2010]
Création du Groupe ENSTA avec l'ENSTA ParisTech et adoption du nom ENSTA Bretagne

[Le pôle d'excellence maritime brestois]

Héritière d'une longue tradition de formations d'excellence dans le domaine maritime, l'ENSTA Bretagne accueille depuis la rentrée 2010 les élèves polytechniciens, ingénieurs de l'armement, en cursus d'application en architecture navale, hydrographie et pyrotechnie.

La formation d'hydrographes ENSTA Bretagne est la plus importante en Europe et l'une des plus renommées au monde. Elle est accréditée au plus haut niveau, de catégorie A, par l'organisation hydrographique internationale FIG-OHI-ACI. Sur l'ensemble du globe, les hydrographes permettent d'améliorer la connaissance des fonds marins et participent à la sécurité et au développement durable des activités maritimes.

Au sein du pôle s'excellence brestois, l'ENSTA Bretagne couvre l'ensemble des thématiques d'étude en sciences marines : durabilité des structures navales, sciences et techniques liées à la connaissance de l'environnement marin, robotique sous-marine, hydrographie,...

Capitale européenne des sciences et technologies marines, la région brestoise concentre en effet plus de la moitié de la recherche française dans ces domaines, au sein d'organismes de recherche de renommée internationale : IFREMER, SHOM, Institut Universitaire Européen de la Mer, Institut polaire Paul Emile Victor, CEDRE, Agence des Aires Marines Protégées, Labex Mer, France Energies Marines, centre de recherche ENSTA Bretagne... Brest est aussi un haut lieu de l'industrie maritime (conception navale et systèmes d'observation marine) et le siège du pôle de compétitivité Mer Bretagne Atlantique.

Fondement d'une formation d'excellence, le centre de recherche ENSTA Bretagne intervient dans des programmes nationaux et européens sur la connaissance de l'environnement marin, la sécurité et la sûreté maritime, le navire du futur ou les énergies marines renouvelables.

> CONTACTS:

Patrick Puyhabilier
Directeur
Ingénieur général de l'armement
patrick.puyhabilier
@ensta-bretagne.fr
tél. +33 (0)2 98 34 88 14

Yann Doutreleau
Directeur Scientifique
Ingénieur en chef de l'armement
yann.doutreleau
@ensta-bretagne.fr
tél. +33 (0)2 98 34 87 38

Nathalie Debese
Enseignante chercheure, responsable pédagogique du domaine Hydrographie
nathalie.debese
@ensta-bretagne.fr
tél. +33 (0)2 98 34 88 11

ENSTA Bretagne
École Nationale Supérieure de **Techniques Avancées** Bretagne

2 rue François Verny - 29806 Brest cedex 9
Tel. +33 (0)2 98 34 88 88 -Fax +33 (0)2 98 34 88 46

www.ensta-bretagne.fr

ENSTA Bretagne service communication - Novembre 2014 - Impression : Calligraphy