

L'ENSTA et le génie maritime

Arnaud Reichart, Isabelle Tanchou & Thomas Loiseux

Directeur adjoint de l'ENSTA, directrice et directeur adjoint de la formation et de la recherche

Nous sommes au xv^e siècle : Henri Le Navigateur ouvre la voie des grandes explorations maritimes. La navigation se développe. L'Amérique est découverte puis la route des Indes Orientales. L'aventure commence, elle ne s'arrêtera pas. La France va suivre cet exemple et prendre une part active aux explorations par voie maritime. À partir du début du xvii^e siècle, Malouins et Dieppois se lancent à la conquête des océans pour commercer avec l'Asie. Ces initiatives individuelles vont bientôt faire place à une volonté politique affirmée par le cardinal de Richelieu. En 1664, Colbert crée la Compagnie des Indes Orientales. Assez vite se fait sentir le besoin de navires véritablement armés pour faire de grands voyages et affronter les tempêtes de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique, ô combien mal nommé.

L'expérience, si précieuse soit-elle, ne suffit plus aux charpentiers de marine. Le besoin d'une formation académique et de solides connaissances en mathématiques se fait sentir. Le savoir faire des charpentiers de marine était alors empirique et se transmettait de maître à apprenti. Ces connaissances nécessitaient d'être structurées et probablement moins jalousement gardées.

L'inspecteur général de la Marine Henri-Louis Duhamel du Monceau, membre depuis 1738 de l'Académie royale des sciences, a fait en 1737 un voyage d'études en Angleterre et aux Pays-Bas. Il en comprend les enjeux et crée à Toulon une école destinée à la formation des maîtres charpentiers de marine. Dès 1741, cette école est transférée au Louvre à Paris. Elle deviendra, deux cent trente ans plus tard, l'École nationale supérieure de techniques avancées (ENSTA ParisTech). Fermée en 1758 pour raisons budgétaires - déjà les questions budgétaires pesaient sur les décisions relatives à l'enseignement - elle rouvrira sept ans plus tard, avec l'appui du duc de Choiseul, sous le nom d'École des Ingénieurs-constructeurs des Vaisseaux royaux.

En 1752, Henri-Louis Duhamel du Monceau rédige « Les éléments d'architecture navale », un des premiers traités sur le sujet ; il y structure les connaissances des



charpentiers de marine. Cette école prendra rapidement le nom d'École spéciale du Génie maritime puis d'École nationale supérieure du Génie maritime. En 1940, elle fusionne avec l'école d'application de l'artillerie navale : l'approche système, une des forces de l'ENSTA ParisTech, est ainsi déjà affirmée. Il ne s'agit plus de construire la coque d'un côté et l'armement de l'autre, mais bien de concevoir des navires militaires armés.

En 1970, cette école fusionne à nouveau, cette fois avec trois autres écoles de la Délégation générale pour l'Armement :

- l'École nationale supérieure des Poudres, première école d'ingénieurs chimistes, créée avec la Régie des Poudres par Antoine Lavoisier en 1775, devenue École d'Application des Poudres et Salpêtres en 1878, puis

- École nationale supérieure des Poudres, formant les ingénieurs des poudres et explosifs,
- l'École nationale supérieure de l'Armement, fondée en 1936, pour former des ingénieurs destinés à l'armement terrestre,
- l'École des Ingénieurs hydrographes de la Marine.

En attendant son implantation prévue à Palaiseau avec l'École Polytechnique - prémisses du future campus Paris-Saclay - elle s'installe provisoirement boulevard Victor, dans le XV^e arrondissement de Paris, à la place de Supaéro qui vient de s'installer à Toulouse. Ce déménagement trouvera son aboutissement en 2012.

Élèves et réalisations illustres

Il n'est pas question de citer ici la liste exhaustive des élèves illustres de cette école : elle serait trop longue. Nous nous bornerons à quelques figures emblématiques, qui, pour certaines, ont laissé leur nom à des vaisseaux célèbres.

Les concepteurs-constructeurs

Peu connu, Antoine Grognard (1727-1799) est un des premiers élèves de l'École. Constructeur de vaisseaux par excellence (trente-neuf vaisseaux, dix-huit frégates, et pas loin de trois cents petits bâtiments !) il remporta le prix de l'Académie de Marine.

Henri Dupuy de Lôme et Gustave Zédé conçoivent et réalisent en 1888 le premier sous-marin torpilleur opérationnel français (et peut-être dans le monde). Ce sous-marin est construit au Mourillon, près de Toulon. Doté d'une propulsion électrique, particulièrement adaptée au fonctionnement en plongée, il a une longueur de

17 mètres. Sa vitesse est de huit nœuds en surface et quatre en plongée. Henri Dupuy de Lôme (1816-1885) est un ancien élève représentatif de l'esprit d'innovation cher à l'École. Il invente de nouveaux concepts tels que le premier navire de ligne à vapeur, le *Napoléon*, mis en service en 1850, le concept de la cuirasse, et bien sûr le *Gymnote*. Il sera membre de l'Académie des sciences, député du Morbihan puis sénateur. Il laisse son nom à deux navires, un croiseur cuirassé lancé en 1887, et un navire collecteur de renseignements de la Marine nationale, admis au service en 2006. Gustave Zédé (1825-1891) : cet ancien élève est directeur du génie maritime et des constructions navales. Il laissera son nom à plusieurs navires, un sous-marin lancé en 1893, un ravitailleur admis au service en 1848, et un bateau support des bathyscaphes.

Les résistants

Autre figure emblématique, l'ingénieur général Jacques Stoskopf (1898-1944) : en poste à l'arsenal de Lorient au moment de la deuxième guerre mondiale, il feint la collaboration avec l'occupant pour mieux enregistrer les mouvements des sous-marins allemands. Arrêté en 1944, il est exécuté au camp de concentration de Struthof le 1^{er} septembre 1944. La base de sous-marins lorientaise de Keroman, maintenant désaffectée, a porté son nom. Si l'on parle de résistance, citons aussi l'ingénieur général, dit amiral, Louis Kahn (1895-1967), qui dirige depuis Londres, puis Alger, les constructions navales des forces françaises libres.

Les internationaux

Parmi les élèves plus récents, on pourra citer aussi un ministre d'État - Ministre de l'Économie et des Finances du Cambodge, ainsi que le président directeur général d'Air Liquide Tunisie, preuve s'il en était besoin du rayonnement international de l'École.

Quelques réalisations

Parmi les réalisations dues aux anciens élèves de l'École, nous citerons :
- des navires militaires (sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE), sous-marins nucléaires ou non d'attaque, porte-avions, frégates...);

- et des navires civils (paquebots, voiliers) : le paquebot *France*, mis à l'eau en 1960, est réalisé notamment sous la responsabilité des ingénieurs du génie maritime Antoine Barthélemy et Alfred Lafont. La maquette du *France* orne encore le hall de l'école. Plus récemment, Jean-Rémy Villageois (promotion 1990) a dirigé la construction du *Queen Mary II* aux Chantiers de



l'Atlantique (actuellement STX) à Saint-Nazaire.

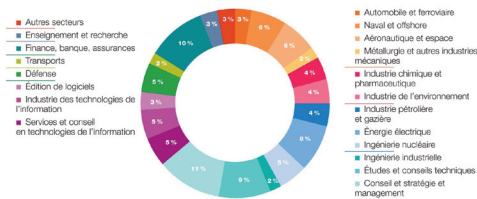
Dans les années 80, des élèves de l'école conçoivent et réalisent un voilier à voile rigide, le catamaran à hydrofoils *Techniques Avancées*, qui battra un record le 24 juin 1997, réalisant ainsi la meilleure performance mondiale de vitesse en classe D. Avec un *run* à 42,12 noeuds, il devient détenteur du record mondial de vitesse à la voile. Ce record ne sera battu que par l'*Hydroptère* en 2007.

L'ENSTA ParisTech aujourd'hui

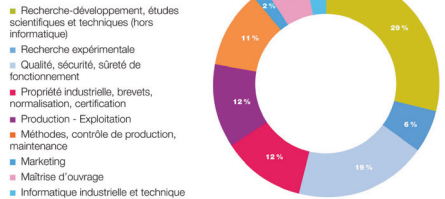
Héritière de cette tradition, et toujours soucieuse d'entretenir l'esprit d'entrepreneuriat et d'innovation remontant à l'origine de l'École, l'ENSTA ParisTech continue de s'affirmer dans de nombreux domaines d'excellence. Beaucoup s'accordent pour reconnaître que l'enseignement de l'ENSTA ParisTech est l'un des plus complets. Des mathématiques, de la physique, de l'électronique, de l'informatique, de la mécanique des fluides et des solides, de la chimie. Le tronc commun est d'une rare densité et complétude scientifique. Bien sûr, à cela s'ajoutent gestion, économie, droit, cours de culture, de communication et de langues étrangères, afin de donner aux élèves-ingénieurs un bagage « d'honnête homme » (ou « d'honnête femme »). Le cœur de la formation de l'École est ainsi basé sur un très large champ de connaissances que les équipes pédagogiques transmettent avec passion pour former des étudiants qui possèdent un savoir solide et particulièrement complet.

Ces ingénieurs ont vocation, avec leurs compétences larges, leur esprit de synthèse et leurs qualités humaines, à faire un véritable travail d'ingénieur, souvent en bureaux d'études ou en recherche et développement, mais aussi en logistique, en production, en maîtrise d'œuvre. L'ENSTA ParisTech irrigue de nombreux secteurs avec les capacités de ses anciens étudiants. Les grands projets dans l'énergie et les transports sont des pôles particulièrement forts.

Secteurs d'activités des jeunes diplômés
(moyenne réalisée sur les promotions 2006-2013)



Fonctions des jeunes diplômés
(promotion 2010)



L'ENSTA ParisTech est fondée sur les trois valeurs de pluridisciplinarité, d'ouverture et d'excellence

Issue de plus de deux siècles et demi de formation en ingénierie, l'École prépare ses étudiants à devenir aptes à assurer la conception, la réalisation et la direction de systèmes complexes sous des contraintes économiques fortes et dans un environnement international. La priorité est donnée aux domaines applicatifs des systèmes pour l'énergie et l'environnement et le transport.

L'ouverture de l'ENSTA ParisTech est multiple

L'ENSTA ParisTech est ouverte sur la société. Elle organise ou participe à des manifestations régulières de promotion de la culture scientifique et d'aide aux élèves de lycées de la région. L'ENSTA ParisTech est ouverte sur le monde. Le corps professoral de l'École s'internationalise avec des recrutements d'enseignants-chercheurs à cinquante pour cent de nationalité étrangère ces dernières années.

Allemagne, Brésil, Canada, Chine, Équateur, Espagne, Finlande, France, Inde, Italie, Congo, Côte d'Ivoire, Maroc, Pérou, Royaume-Uni, Russie, Suède, Taiwan, République Tchèque, Tunisie. Vingt-cinq pourcent des élèves sont de nationalité étrangère. Ils viennent du monde entier grâce à des partenariats spécifiques avec des universités ou au travers de réseaux tels que TIME (*top industrial managers for Europe*).

L'ENSTA ParisTech est ouverte sur ses partenaires du plateau de Saclay. Plusieurs laboratoires sont déjà partagés avec le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), l'Institut national de recherche en informatique et en automatique, l'École Polytechnique, l'Université Paris 11. Avec l'arrivée sur le plateau des Mines ParisTech et d'EDF, ainsi que le développement des laboratoires d'excellence qui unissent les partenaires du plateau, dans quelques années, tous les laboratoires de l'ENSTA ParisTech seront partagés.

L'ENSTA ParisTech s'inscrit donc clairement dans une démarche d'excellence

L'École entend s'inscrire dans un modèle international d'université d'excellence d'enseignement et de recherche. Le nombre de doctorants a vocation à croître au rythme du besoin des entreprises, y compris après une formation d'ingénieur. L'ENSTA ParisTech a d'ores et déjà, 17 % d'élèves ingénieurs qui poursuivent en thèse. Empreint des valeurs de pluridisciplinarité, d'ouverture et d'excellence, forte d'une tradition et d'une réputation qui attirent d'excellents étudiants et assurent une employabilité remarquable, l'ENSTA ParisTech affirme sa volonté de contribuer pleinement au campus Paris Saclay.

Le conseil d'administration a donné à l'École comme mission de s'affirmer dans trois pôles : les transports, l'énergie et l'environnement, ainsi que l'ingénierie mathématique et l'ingénierie système.

Par ailleurs, l'École propose une approche système particulièrement adaptée aux domaines des transports de l'énergie et de l'environnement ; une structure en mer n'est-elle pas un système d'une complexité rare, alliant à la fois des questions d'architecture, de structures, de stabilité, de déplacement dans un milieu fluide, mais aussi le système de propulsion, le contrôle - commande, le système de navigation, l'ergonomie, la prise en compte de la vie à bord et son organisation, sans oublier les activités spécifiques qui sont la raison d'être de la structure : aéroport pour un porte-avions, usine pour une unité flottante de production de stockage et de déchargement (FPSO : Floating Production, Storage and Offloading unit), production d'électricité pour une éolienne offshore, etc, le tout en interaction avec toutes les nationalités possédant une flotte civile ou militaire. Cette approche système est appréciée et même demandée par les industriels partenaires de l'école. Pour l'ENSTA ParisTech, l'ingénierie des systèmes complexes est fondamentale pour une école d'ingénieurs de haut niveau.

La filière « génie maritime » aujourd'hui

La mer reste, avec les mutations de l'école et l'affirmation des trois pôles énergie, transports et ingénierie mathématique, un fort axe de développement de l'école. Elle représente 71 % de la surface de la planète et propose de nombreux axes d'exploration. Par ailleurs, l'habitat humain se concentre de plus en plus près des côtes, avec les conséquences parfois dramatiques que l'on connaît. Il s'avère donc de plus en plus nécessaire de mieux connaître le milieu marin et de définir les moyens de vivre près de lui et par lui.

Dédiée, à l'époque de sa fondation, à la construction navale militaire, le génie maritime couvre aujourd'hui un champ beaucoup plus large ! Parmi les dix-sept filières de troisième année proposées à l'ENSTA ParisTech, l'enseignement du génie maritime s'articule autour d'un tronc commun et deux filières « Systèmes de transport maritime » et « *Offshore* énergies *engineering* » qui s'inscrivent parfaitement dans les trois pôles de l'École.

Alliant enseignements théoriques (hydrodynamique navale, modélisation des structures, etc) et techniques (conception assistée par ordinateur, réglementation, propulsion, etc), la formation fournit un bagage conceptuel poussé et développe une approche visant à initier à la gestion de projet en abordant la structure en mer sous la forme d'un système complexe nécessitant une approche globale des problèmes rencontrés, de l'avant-projet à la réalisation. Tout au long de la formation, les élèves sont sensibilisés aux grands enjeux du secteur maritime, aussi bien sur les aspects transport que sur les aspects énergie.

Tous les types de navires sont abordés ; le paquebot et le sous-marin aussi bien que le méthanier, le navire à grande vitesse, le navire d'opération, le porte-conteneurs ou le voilier. La formation est également largement ouverte sur l'ingénierie *offshore* : conception des plates-formes pétrolières, développement des énergies marines renouvelables... Bref, les élèves des filières « génie maritime » sont formés à la conception de tous types de structures en mer.

Les enseignements de troisième année sont dispensés par des intervenants issus du secteur industriel, ce qui montre bien le souci de l'École de former des ingénieurs adaptés au marché du travail.

L'école propose également au titre de la formation continue, un mastère spécialisé intitulé « Génie Maritime : transport, énergie, développement durable ».

Dans le domaine de la recherche, des études sont menées sur des moyens innovants et efficaces de production d'énergie à partir des courants géophysiques (courants marins, courants fluviaux). Cette attention est motivée par la nécessité de plus en plus importante de trouver de nouvelles sources d'énergie, et par la multitude de problèmes fondamentaux intéressants les enseignants chercheurs auxquels ceux-ci sont confrontés dans ce genre d'étude. Des recherches sont notamment menées sur les rendements que l'on peut attendre de la récupération d'énergie des instabilités fluides élastiques. Ces instabilités surviennent lorsqu'une structure souple se trouve dans un écoulement et sont caractérisées par des oscillations de grande amplitude de la structure. Ces recherches servent de support pédagogique tout au long du cursus ingénieur des élèves

Programme de la formation en génie maritime

La conception d'un produit de haute technologie telle qu'une structure en mer nécessite de fournir un bagage conceptuel poussé. Nous développons en complément une approche qui reprend le savoir technique dans des enseignements qui visent à initier à la gestion de projet. La structure en mer est abordée sous la forme d'un système, en s'appuyant sur une approche globale des problèmes rencontrés, de l'avant-projet à la réalisation.

Option : « Systèmes de transport maritime »

Cette option fournit des connaissances techniques en hydrodynamique navale et en dynamique des structures, intègre les problèmes liés à la production d'énergie à bord, les principes sous-jacents à la sécurité des systèmes navals et l'approche suivie par la réglementation. L'accent est particulièrement mis sur une mise en perspective dans le cadre des grandes évolutions futures telles que l'éco-conception ou encore l'intégration de systèmes intelligents. Il ne s'agit pas de s'arrêter à l'architecture du navire, mais bien d'englober dans la boucle de projet, des aspects plus vastes tels que l'économie du secteur maritime.

Cette option permet donc d'acquérir les bases théoriques et conceptuelles nécessaires aussi bien d'un point de vue technique que d'un point de vue système et également avec une approche économique.

Option « Offshore énergies engineering »

L'objectif est ici de former des ingénieurs pour l'exploitation des ressources énergétiques marines, des hydrocarbures aux énergies renouvelables.

L'exploitation des hydrocarbures en zone maritime ne cesse de croître et se développe dans des conditions de plus en plus extrêmes – ultra grandes profondeurs, états de mer difficiles ou conditions climatiques rigoureuses – nécessitant des études innovantes. En parallèle, le développement émergeant des énergies marines telles que courants, marées, vagues, vents, gradients de température ou de salinité ne cesse de croître.

Cette option a ainsi pour objectif de répondre à la forte demande actuelle pour l'exploitation des sources d'hydrocarbures en milieu marin, mais aussi de préparer les diplômés à la mutation du secteur énergétique qui s'opère avec l'émergence des énergies marines renouvelables, notamment sous l'impulsion politique, et avec la maturation des technologies permettant de les exploiter. Outre un volet technique, cette option apporte les compétences pour appréhender les changements futurs dans le domaine de l'énergie et répondre aux défis de demain en étant par exemple capable de déterminer le potentiel énergétique d'une zone maritime avec la prise en compte de toutes les sources envisageables, dans un cadre économique, politique, écologique et citoyen en pleine mutation.

de l'ENSTA ParisTech, par l'intermédiaire de projets expérimentaux ou numériques de mécanique des fluides, de mécaniques des solides ou d'interaction fluide-structure, mais aussi par l'intermédiaire de stages de recherche à l'unité de mécanique (UME) de l'ENSTA ParisTech.

La filière « océan, climat et environnement »

Cette filière, héritière d'une des écoles fondatrices de l'ENSTA ParisTech, l'École des ingénieurs hydrographes de la Marine, est fortement marquée par l'océanographie physique. Avec l'intérêt croissant pour les sciences du climat, cette orientation reste d'actualité. Mais ce n'est pas au détriment de l'étude plus générale de l'environnement marin, sur les marges continentales notamment. La filière s'intéresse ainsi d'une part, aux processus qui contrôlent l'état et l'évolution du milieu marin et du littoral et d'autre part, à l'impact des activités humaines (pollution, ouvrages maritimes...), en liaison avec les préoccupations liées à la gestion du milieu marin. Ses objectifs sont donc d'offrir une formation en mécanique des fluides, depuis l'hydraulique maritime jusqu'à la dynamique des fluides géophysiques et de présenter les applications (prévision du climat, aménagement du littoral, qualité de l'eau marine...).

Cette filière forme les futurs ingénieurs et chercheurs dans les nombreux métiers de l'environnement, en particulier marin, aussi bien du point de vue de la recherche fondamentale ou appliquée que de celui de la gestion de l'environnement aux échelles locale ou globale. Le marché de l'emploi concerne les entreprises, notamment les petites et moyennes entreprises, les établissements publics français et étrangers (CNRS, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer - IFREMER...), les collectivités territoriales.

La filière « océan, climat et environnement » est par ailleurs associée depuis de longues années au master « océan, atmosphère, climat et observations spatiales (OACOS) de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC) pour lequel l'ENSTA ParisTech est cohabilitée. La recherche dans ce domaine est effectuée au groupe « fluides géophysiques et océanographie » (FGO) de l'unité de mécanique (UME), souvent en partenariat avec d'autres laboratoires tels que le laboratoire de météorologie dynamique (LMD) de l'École Polytechnique, le laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentation et approches numériques (LOCEAN) de l'Université Pierre et Marie Curie, ou l'Institut national des sciences de l'univers du CNRS (INSU).

Citons entre autres comme thèmes d'étude la modélisation de la Méditerranée, avec l'étude de la circulation générale de cette mer intérieure, ainsi qu'une participation à l'étude du climat régional, de l'ensemble des processus couplés (physique, bio-géochimie) et des interactions entre les différents compartiments du système Terre (océan, continent, atmosphère). Pour mener à bien ces études, les équipes ont développé et maintiennent une plate-forme de modélisation de la Méditerranée. Ils s'appuient aussi sur un grand instrument océanographique avec la constitution du Centre *glider* à la division technique de l'INSU à la Seyne sur mer. Les *gliders* sont des planeurs sous-marins autonomes chargés de recueillir les mesures nécessaires aux équipes de recherche.



Depuis le temps des grandes découvertes, l'école a connu des mutations majeures. Si ses missions ont évolué, le souffle initial demeure et aussi bien enseignants-chercheurs qu'élèves en sont porteurs. Il est impressionnant de constater le fourmillement d'idées qui émergent à l'ENSTA ParisTech dans le domaine maritime et plus encore : tout contribue à prouver que le rêve initial des grands navigateurs n'est pas près de s'éteindre.