

L'École nationale supérieure de techniques avancées

Ingénieur général de l'armement Dominique Tixeront
Directeur de l'ENSTA

L'École nationale supérieure de techniques avancées (ENSTA) est une des plus anciennes écoles d'ingénieurs françaises. Les ingénieurs sont aujourd'hui des architectes de projets industriels. Leur formation doit répondre à deux défis. L'ingénieur doit être en mesure de s'adapter à toutes les mutations technologiques et de satisfaire les nouvelles attentes de la société.

Tantôt considérées comme une particularité du système de formation français, tantôt décriées pour leur petite taille, les « grandes écoles d'ingénieurs » témoignent toujours d'un dynamisme que beaucoup leur envient. Créées pour la plupart à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e, elles sont le résultat d'un choix des pouvoirs publics de constituer des corps d'ingénieurs de haut niveau pour assurer la mise en œuvre de techniques dont l'État était le principal utilisateur.

L'ENSTA tire ses origines de **l'École des ingénieurs constructeurs de vaisseaux royaux** créée en 1741, et qui donna par la suite naissance à **l'École du génie maritime**. Elle prend le nom d'ENSTA en 1970 et intègre l'École des ingénieurs des poudres et explosifs, **l'École des hydrographes de la marine**, et l'École de l'armement terrestre, elles aussi fondées plusieurs siècles auparavant.

C'est dire si le souci d'excellence technique imprègne cette école, et nous restons aujourd'hui convaincus de l'importance de le préserver pour permettre à nos étudiants de s'adapter en permanence à l'évolution des technologies.

Avantage d'une petite structure, l'ENSTA a su aussi se montrer réactive face aux évolutions de la société et à cet égard la période de reconstruction qui a suivi la deuxième guerre mondiale a été riche en transformations : la nation avait besoin d'ingénieurs capables de gérer de grands projets, de maîtriser leur complexité aussi bien dans leur dimension technique qu'économique et humaine. L'enseignement du droit, de la gestion financière et des ressources humaines est venu compléter les cursus d'enseignement technique.

La période actuelle apporte également son lot d'évolution. La facilité et l'accélération des échanges aussi bien de marchandises que d'informations créent un contexte nouveau pour les entreprises qui sont de plus en plus confrontées à une concurrence internationale et ne peuvent plus se contenter d'opérer sur leur marché national. Cette mutation nécessite de nouvelles adaptations dans la formation de leur encadrement et de leurs dirigeants, et constitue de nouveaux défis pour les écoles d'ingénieurs.

Le métier d'ingénieur : un métier « sans frontière »

Depuis déjà plusieurs années, les écoles d'ingénieurs ont intégré la dimension internationale dans leur cursus de formation. Pour les élèves de l'ENSTA, cela implique la connaissance de deux langues étrangères dont l'anglais et l'obligation de consacrer une partie de leur scolarité dans des établissements étrangers, voire pour certains d'entre eux d'acquérir un double diplôme. Mais il nous faut maintenant avoir l'ambition d'être reconnu au niveau international par les employeurs étrangers : c'est sans doute la condition de notre pérennité, mais aussi une exigence que ne tarderont pas à formuler nos étudiants. Tous nos cours sont cotés en crédits ECTS¹ pour faciliter les échanges et développer l'accueil d'étudiants étrangers.

La recherche d'une meilleure visibilité pour des écoles dont la taille est réduite en regard de leurs concurrents étrangers passe aussi par une forte politique de partenariat : l'ensemble que constitue ParisTech est une première réponse qu'il convient d'approfondir dans les années futures.

Savoir combiner science, technique et économie

Si l'enseignement de l'économie n'est pas une nouveauté pour l'ENSTA, le fonctionnement concurrentiel des entreprises qui doivent intégrer leur capacité à inventer de nouveaux produits avec les réactions de leur environnement et la demande des consommateurs, nécessite de donner de nouvelles dimensions à nos enseignements. Comprendre les phénomènes économiques, appréhender le juridique, veiller aux aspects concurrentiels représentent déjà 150 heures d'enseignement à l'ENSTA qui se prolongent par la mise en œuvre de projet ou le travail au sein d'équipes pluridisciplinaires mêlant science, technique et économie.

Répondre aux nouvelles attentes de la société

Les politiques de développement, les processus de production et de consommation font l'objet d'exigences sans cesse croissantes de la société en matière d'impact sur l'environnement et de développement durable. Une école d'ingénieurs se doit aujourd'hui de former ses élèves à la prise en compte de nouvelles dimensions sans doute un peu trop négligées dans le passé : étude du cycle de vie d'un produit, recyclabilité, impact des procédés de production, gestion des déchets, internalisation des coûts, etc.

Mieux comprendre le monde dans lequel nous vivons

Dans un monde où tout va très vite, où les positions acquises ne sont jamais définitives, où il faut sans cesse se remettre en question, il nous semble important de donner des repères à nos étudiants, qui pour la plupart, sont issus d'un cycle de préparation dont on peut difficilement dire qu'il favorise le développement de la personnalité.

Apprentissage de la responsabilité, envie d'entreprendre, capacité à communiquer, sens de l'intérêt général me semblent ainsi des composantes essentielles de leur formation. Une dimension humaniste est aussi très présente dans les enseignements de l'ENSTA : des séminaires d'études théâtrales, d'histoire de la musique, de cultures étrangères ou encore

¹ *European credit transfer system.*

d'introduction à la psychanalyse sont programmés pour les inciter à s'ouvrir à la différence et mieux comprendre le monde dans lequel nous vivons.

Le cycle ingénieur de l'ENSTA aujourd'hui

Le projet pédagogique en vue duquel est pensé le cycle ingénieur de l'ENSTA est de former des ingénieurs capables d'assurer la conception, la réalisation et la direction de systèmes industriels complexes, sous des contraintes économiques fortes et dans un environnement international. Pour n'oublier aucun de ces points, il a fallu, outre la traditionnelle maîtrise technique qui est enseignée aux élèves depuis la création de l'École, mettre l'accent sur l'importance de la connaissance de plusieurs langues et de plusieurs cultures, ainsi que sur l'importance de la bonne connaissance du fonctionnement des entreprises et de leur environnement.

L'ENSTA ambitionne donc de former des ingénieurs polyvalents dont l'étendue des connaissances fondamentales permet non seulement de prendre en charge des projets techniques de grande envergure du début jusqu'à la fin, mais aussi d'évoluer et de pouvoir s'adapter tout au long de leur carrière à leur métier d'ingénieur toujours en pleine mutation.

Dans cette optique, l'approfondissement d'un domaine (filière) par les ingénieurs de l'ENSTA ne représente pas le but de la formation dispensée au cours des trois années du cycle d'ingénieur ; les enseignements d'approfondissement permettent d'une part de garantir que les diplômés de l'ENSTA ont abordé un exemple concret d'application des connaissances et techniques fondamentales enseignées dans le reste du cursus et, d'autre part, d'enseigner des techniques et connaissances que chaque ingénieur pourra développer et mettre en œuvre dans son premier poste. Le projet pédagogique de l'ENSTA est néanmoins résolument orienté vers les postes suivants et un ingénieur ENSTA prend pleinement sa valeur au bout de quelques années lorsqu'il exerce un métier transverse nécessitant justement de bonnes connaissances dans des domaines très variés.

Pôle « Transports terrestres, navals et spatiaux »	
a.	Transport
b.	Offshore et Architecture navale
c.	Propulsion spatiale
Pôle « Chimie, énergie, production et environnement »	
d.	Génie des procédés et environnement
e.	Systèmes de production
f.	Énergie électronucléaire
g.	Environnement
h.	Océanographie
Pôle « Systèmes d'information et de communication »	
i.	Systèmes d'information
j.	Télécommunications
k.	Multimédia
l.	Robotique autonome
Pôle « Ingénierie mathématique : modélisation et mathématiques de la décision »	
m.	Optimisation et recherche opérationnelle
n.	Finances
o.	Commande des systèmes
p.	Modélisation des systèmes

Plutôt que d'enseigner un « savoir faire » dans un domaine donné, l'ENSTA enseigne donc les différentes techniques propres de l'ingénieur (savoir analyser un problème, savoir le modéliser, être capable de proposer des solutions techniques, savoir expliquer les solutions proposées, être capable de les mettre en œuvre) qu'elle illustre dans tous les domaines traditionnels de formation des ingénieurs (mathématiques, mécanique, physique, informatique, etc.), ainsi que dans un domaine d'approfondissement choisi par chaque élève parmi seize filières regroupées en quatre pôles.

L'Architecture navale dans le cycle ingénieur l'ENSTA

L'ENSTA est l'héritière d'une longue tradition en matière d'Architecture navale. Il faut noter que la multiplicité de ses sous-ensembles et de leurs interfaces (structure, propulsion, systèmes d'énergie, automatismes, électronique ...) fait d'un navire moderne l'exemple par excellence d'un système complexe, et qu'à ce titre, l'Architecture navale a été historiquement à l'origine même du caractère généraliste de la formation que met aujourd'hui en avant l'ENSTA.

Le mastère spécialisé en Architecture navale

Le mastère spécialisé en Architecture navale de l'ENSTA met à profit les structures d'enseignement (filiales d'approfondissement de 3^e année du cycle ingénieur) et de recherche de l'école, ainsi que son ancrage dans le milieu professionnel qui se traduit par la participation à l'enseignement de nombreux ingénieurs en poste dans les entreprises et organismes de recherche.

Conçu en liaison étroite avec des personnalités du monde maritime, le mastère spécialisé en Architecture navale est une formation qui permet de compléter, en un an, une formation universitaire ou une formation d'ingénieur suivie dans une autre école ; elle permet à ceux qui la suivent de s'ouvrir de nouveaux débouchés dans leur carrière. Sa valeur ajoutée est une connaissance opérationnelle de la construction navale et offshore.

Par une formation adaptée qui s'appuie partiellement sur la troisième année du cycle ingénieur, ce mastère prépare des ingénieurs et universitaires de haut niveau à relever les défis multiples qu'ils sont amenés à rencontrer, dans un milieu qui voit sans cesse se développer de nouveaux produits (paquebots, méthaniers, frégates, plates-formes, etc.) faisant appel aux plus hautes technologies, dans un environnement international compétitif et dans un contexte de développement constant du transport maritime lié à la mondialisation.

Des cours d'hydrodynamique et de structures, associés à des activités expérimentales et des travaux de simulation numérique, permettent d'acquérir les connaissances de base indispensables à l'ingénierie maritime. La conception et la réalisation de produits navals sont étudiées, en prenant compte toutes les composantes de cette approche système : politique et économie maritime, outils de conception et de réalisation les plus avancées (productique, robotique, préfabrication ...), et conduite de grands projets intégrant les aspects évaluation des coûts, rentabilité, qualité, fiabilité. Les étudiants partent une semaine effectuer des visites sur des chantiers navals pour compléter la formation.

L'Architecture navale est un domaine d'approfondissement majeur de la troisième année du cycle ingénieur de l'ENSTA. Environ 10 % des élèves de chaque promotion choisissent ce domaine d'approfondissement et décident de suivre la filière Offshore et Architecture navale en troisième année. Elle se compose de quatre modules de 84 heures chacun :

Dans le premier module, les élèves, en s'appuyant sur les connaissances scientifiques acquises lors des deux premières années du cycle ingénieur (plus particulièrement en matériaux, mécanique des structures, mécanique des fluides, calcul scientifique), approfondissent leurs compétences en modélisation numérique en suivant, au choix un enseignement en modélisation numérique des structures ou en modélisation numérique en mécanique des fluides, comprenant de nombreuses séances pratiques sur des codes de calcul (en particulier codes d'éléments finis).

Dans un autre module, ils apprennent les bases de l'hydrodynamique navale, avec des concepts spécifiques tels que l'équilibre et la stabilité d'un flotteur, les interactions du flotteur avec la houle, la résistance de vagues, la cavitation. Ces concepts sont appliqués aux projets de navire : évaluation des qualités nautiques du navire, en abordant des questions telles que les performances en tenue à la mer du navire sur houle réelle ; évaluation des qualités manœuvrières, comprenant notamment la sécurité et la réglementation ; évaluation de la résistance et du dimensionnement du propulseur, comprenant l'impact de la cavitation et celui du bruit. Les enseignements théoriques sont complétés par des séances expérimentales ou numériques et par des visites de sites tels que le bassin d'essais des carènes du Val-de-Reuil.

Un cours à option : Économie, droit et stratégie de la mer

En complément des enseignements scientifiques et de gestion de projets, les élèves peuvent être formés en troisième année aux particularités de l'économie, du droit et de la stratégie de la mer. Dans le cadre d'une scolarité très dense, cette initiation repose sur deux outils, un cours magistral très serré de 21 heures et un support de cours (*Un pavé sur la mer*²) fournis aux élèves depuis trois ans sous deux formes : papier édité par l'école et fichier informatique transmis par email.

Le cours magistral est une synthèse. D'une part, il s'essaye à donner aux élèves, le décor une fois planté par une brève histoire et géographie de la mer, des éléments de culture maritime en matières d'économie, de droit et de stratégie. En complément à ces matières, des coups de projecteurs sont donnés sur les problèmes « politiques » transverses essentiels du monde maritime : sécurité maritime ; environnement marin ; recherche et développement des sciences de la mer. D'autre part et c'est sans doute sa part la plus formatrice, ce cours s'exerce à donner aux élèves une capacité d'analyse critique des grands problèmes maritimes. Il s'agit notamment de démontrer la nécessité d'une grande mobilité d'esprit face à la rapidité des changements qui interviennent dans les trois domaines concernés. Les problèmes socio-économiques, juridiques et stratégiques du monde maritime nécessitent une appréciation réactualisée en permanence.

Le support de cours mis à jour pour chaque nouvelle promotion n'est pas une Bible maritime intangible. Bien au contraire, il s'apparente à une photographie du monde maritime, (un peu épaisse – 380 pages A4) prise à une date rapprochée. « *Si toute prospective naît du regard critique porté sur le passé, elle est avant tout projection intelligible du réel sur l'avenir. Elle est tenue à allier perspicacité, itération et réserve. La prospective maritime n'échappe pas à ces contingences. Sujet d'une histoire longue, difficile et prestigieuse, le monde maritime est soumis à la pesanteur de la tradition, domaine du certain et n'appréhende l'innovation, domaine de l'incertain, qu'avec méfiance. Or l'innovation est le paramètre majeur de la prospective qui ouvre sur les cinq volets technique, commercial, organisationnel, guerrier et culturel.* » Un extrait de ce document a été publié dans le n° 457 de la Revue Maritime : « De la fortune de mer - Regard sur la sécurité maritime. » BD

² Cours de l'ENSTA (édition annuelle depuis 1995, dernière en 2003) : « Un pavé sur la mer - La question maritime : état des lieux et perspectives à l'aube du XXI^e siècle »

Selon qu'ils cherchent à approfondir l'aspect « naval » ou l'aspect « offshore », les élèves choisissent entre :

- un module consacré à la gestion de l'énergie et de la sûreté des systèmes navals (traitant des besoins du navire en énergie, thermique ou électrique, qu'elle soit destinée aux équipements ou à la propulsion des navires ; des différents systèmes de transmission de la puissance aux propulseurs ; et enfin, des normes de sécurité à observer lors de la conception, la construction et l'utilisation des navires d'aujourd'hui.)
- un module consacré à l'offshore et à l'environnement côtier (hydraulique fluviale et maritime, vagues, houle et ouvrages maritimes, génie océanique pétrolier).

Enfin, un module intitulé « génie maritime » permet aux élèves d'être initiés à la gestion de projet de navires et d'ouvrages offshore et à la production en chantier naval. Il permet une découverte des réalités concrètes du monde maritime d'aujourd'hui sur les bases de visites et d'exposés. Il aborde aussi l'étude des procédés mis en œuvre pour le développement des champs pétroliers en mer. Enfin, il est complété par des notions d'organisation des espaces architecturaux.

L'océanographie à l'ENSTA

Une des écoles dont la fusion a conduit à la naissance de l'ENSTA était l'école des Ingénieurs Hydrographes de la Marine. Aujourd'hui, l'océanographie est toujours un domaine extrêmement actif à l'ENSTA et connaît un nouvel essor avec l'acuité croissante des enjeux environnementaux. L'ENSTA entretient, tant pour l'enseignement que pour la recherche, une collaboration suivie avec le LODYC (Laboratoire d'océanographie dynamique et de climatologie) de l'université Paris Pierre et Marie Curie ainsi qu'avec le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine).

L'école propose depuis plusieurs années une filière d'approfondissement « océanographie » en troisième année. Chaque année, cette filière est choisie par un peu plus de 10 % des élèves. Elle est partiellement couplée au DEA³ « Océanologie, météorologie et environnement » que l'ENSTA est cohabilitée à délivrer et qui est piloté par l'Université Pierre et Marie Curie.

Cette filière 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 d'en présenter les applications à la prévision du climat, l'aménagement du littoral, la qualité de l'eau marine, etc.

L'étude du milieu océanique est également très présente dans la filière « environnement », qui aborde plus largement les questions liées à l'eau dans l'environnement ainsi que les questions de gestion qui s'y rattachent. La filière « environnement » s'adresse donc aux 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 grandes entreprises de gestion de l'eau, les PME très actives dans le

³ Diplôme d'études approfondies. Ndlr

secteur maritime, les établissements publics français et étrangers (CNRS, IFREMer...), les collectivités.

Signe de l'essor de cette discipline à l'ENSTA, il a été introduit en 2002-2003, en deuxième année du cycle ingénieur, un nouveau module « océanologie » de 84 heures. Dès son année d'introduction, il a été choisi par 13 % des élèves. Il comprend :

- Une introduction à la dynamique des fluides géophysiques, qui présente une approche globale et unifiée de l'étude des circulations atmosphérique et océanique. Il utilise des modèles mathématiques simples pour illustrer les principes dynamiques fondamentaux. L'accent y est mis sur l'étude des mouvements de grande échelle : théorèmes de base, vorticité potentielle, approximation quasi-géostrophique. Ces concepts sont appliqués à l'interprétation des principaux traits de la circulation atmosphérique : cellules de Hadley, *jet-streams*, vents d'ouest, alizés...

Une introduction géosciences marines qui présente les caractéristiques fondamentales des fonds océaniques et les processus majeurs qui modèlent la géologie des océans. Sont exposés la structure du globe, les principes de la tectonique des plaques, les grandes structures océaniques (dorsales, zones de fracture, marges actives et passives, zones de subduction, structures intraplaques), croûte et lithosphère océanique, dynamique des plaques

Un enseignement sur le système océan-atmosphère introduisant les concepts de base nécessaires à la compréhension du climat et de ses variations en mettant l'accent sur le rôle de l'atmosphère, de l'océan, de la glace de mer et de leur interaction ainsi que la question de la contribution humaine au réchauffement de la planète.

Un cours d'océanographie régionale décrivant l'océan à l'échelle globale puis l'hydrologie spécifique à chaque océan est décrite avec l'origine, la formation sous l'effet des échanges avec l'atmosphère, les mouvements et les mélanges des diverses masses d'eau rencontrées.

