

## Master Physique

# Parcours Hydrodynamique navale

### Objectifs

#### Objectifs scientifiques :

L'objectif de la mention est double : d'abord donner les bases de la connaissance du domaine selon chaque spécialité, Physique de l'Océan et Climat, Géophysique Marine, Hydrodynamique Navale et en parallèle renforcer la formation sur les outils et méthodes mises en œuvre dans les métiers sur lesquels débouchent ces spécialités. Le deuxième aspect a fait l'objet d'une réflexion particulière en 2010 afin de mettre en exergue les méthodes que devrait maîtriser chaque étudiant à l'issue de son master. Le premier volet « connaissances » est développé pour chacune des trois spécialités dès le Master 1ère année et représente à peu près la moitié du contenu pédagogique. Le deuxième volet « outils » est dévolu aux méthodes « mathématiques appliquées », « traitement de données » et « modélisation numérique ». Il est mutualisé entre les trois spécialités.

L'objectif affirmé de la mention Physique Marine est double (i) former à la recherche et (ii) fournir également des bases méthodologiques solides de type Physique de l'Ingénieur pour ceux qui arrêteront leurs études à la fin du master.

#### Objectifs professionnels:

La demande de nos diplômés par les industriels et les laboratoires tant en Sciences de l'ingénieur qu'en Sciences de l'Univers croît régulièrement pour au moins trois raisons : les préoccupations croissantes sur l'état physico-chimique de la planète et du climat, la gestion des ressources de l'environnement marin et les applications navales liées à la Défense, trois domaines dans l'étude desquels Brest s'est taillé une solide réputation.

Les objectifs professionnels découlent directement de nos objectifs scientifiques. Il y a donc deux types d'orientation professionnelle à l'issue du master, la poursuite en doctorat ou l'intégration dans le monde industriel.

### Compétences acquises

Compétences ou capacités évaluées

Le titulaire de ce diplôme devra savoir appliquer les connaissances acquises à des problèmes spécifiques.

### Conditions d'accès

- > En Master 1 : L3 de physique ou de maths ou équivalent
- > En Master 2 : M1 de physique ou de maths ou une 2ème année validée de grande école

### Insertion professionnelle

Ce professionnel peut exercer dans les secteurs public et privé dans les domaines suivants :

- > génie naval ;
- > environnement ;
- > génie offshore ;
- > pétrolier ;
- > applications industrielles.

Il peut exercer les emplois suivants :

- > Chargé d'études recherche et développement
- > Chercheur (après une thèse)
- > Enseignant-chercheur (après une thèse)

### Infos pratiques

**Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM)** à Brest Technopole  
Ouvert en stage

### Contacts

#### Responsable pédagogique

GUILCHER Pierre-Michel

pierre-michel.guilcher@ensta-bretagne.fr

LEROUX Jean-Baptiste

jean-baptiste.leroux@ensta-bretagne.fr

#### Responsable Secrétariat pédagogique

Scolarité IUEM

scolarite-iuem@univ-brest.fr

## Programme

### M1

#### Semestre 7 Physique HN

<b>Fluides 1</b>	50h
<b>Mathématiques Appliquées 1</b>	32h
<b>Modélisation numérique 1</b>	30h
<b>Analyse de données 1 - Data Analysis 1</b>	38h
<b>Programmation scientifique</b>	20h
<b>Inter SML</b>	20h
<b>Anglais S7 Physique</b>	20h
<b>Bases en architecture et ingénierie navales 1</b>	38h
<b>Introduction hydrodynamique navale 1</b>	60h

#### Semestre 8 PM HN

<b>Fluides 2</b>	47h
<b>Mathématiques appliquées 2</b>	33h
<b>Modélisation numérique 2</b>	20h
<b>Analyse de données 2</b>	38h
<b>Oral scientifique</b>	17h
<b>Formation biblio &amp; projet individuel</b>	17h
<b>Bases en architecture et ingénierie navales 2</b>	48h
<b>Introduction à l'hydrodynamique navale 2</b>	72h
<b>Projets Architecture et hydrodynamique navale</b>	64h

### M2

#### Semestre 9 PM HN

#### Semestre 10 PM HN

Dernière mise à jour le 02 mars 2026

# Fluides 1

## Présentation

This course aims at introducing Fluid Mechanics to non specialists, starting from classical mechanics. It establishes the equations governing homogeneous incompressible fluids (statics, kinematics, dynamics, vorticity dynamics) and solves them for steady flows, irrotational flows, viscous flows, surface waves. It gives applications to aerodynamics, hydrodynamics and hydraulics. This course is taught in English

### 5 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 18h

Travaux Dirigés : 24h

Travaux Pratiques : 4h  
Autres : 4h

## Objectifs

Objective of the course:

this is the basic course upon which specialized fluid dynamics courses (GFD, fluid-solid interactions) will be based.

## Pré-requis nécessaires

Pre-requisites:

mathematical analysis : ODEs, PDEs (preferably), real functions of several variables, geometry of curves and surfaces, vector analysis ;

physics : classical mechanics, electrostatics (electromagnetism), thermodynamics

## Compétences visées

this course builds up know-how and abilities:

ability to identify scientific questions

ability to use these results for scientific projects

ability to validate numerical results with theoretical results

use for problem solving in fluids

contributes to a global approach (holistic approach) to problem solving

use for building numerical algorithms for professional purposes

## Descriptif

Contents

Introduction/description of fluids, from microscopics to macroscopics

fluid statics

fluid kinematics and deformation

fluid dynamics

vorticity

steady flows

irrotational flows

aerodynamics and hydrodynamics

boundary layers

viscous flows

surface waves

hydraulics

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Ecrit - devoir maison		1/4	Projet expérimental
	CT	Ecrit - devoir surveillé	150	3/4	



Université de Bretagne Occidentale

## Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	30	100%	

# Mathématiques Appliquées 1

## Présentation

The 1st applied maths course is designed to provide the student with analytical tools for physics, such as ODE solutions, perturbations methods, Lyapunov exponents...

It is followed by the 2nd applied maths courses which focuses on the (mainly linear) partial differential equations for physics (fluid mechanics in particular).

### 3 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 15h

Travaux Dirigés : 17h

## Objectifs

To acquire the mathematical tools necessary for many problems in the engineering sciences (aerodynamics or hydrodynamics, calculation of structures, etc.) or useful in Master 2 in these fields.

## Pré-requis nécessaires

Integration of linear ordinary differential equations.

## Compétences visées

- > Know the basic methods for discussing solutions of ordinary differential equations.
- > Develop approximate solutions in the form of asymptotic developments when a small parameter can be identified in the equations.

## Descriptif

I. Reminders and mathematical complements: Ordinary differential equations of order 1 and 2 with constant coefficients - Integer series.

II. Characterization of solutions of linear and non-linear differential equations:

1. Notion of flow, phase portrait, reminder on the existence and uniqueness of solutions.
2. Linearization around an equilibrium and notion of stability. Introduction to the Lyapunov method for equilibrium stability.

III. Determination of approximate solutions of second order differential equations :

1. Perturbation methods and notion of asymptotic expansion.
2. Application to differential equations

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	2/3	
	CC	Autre nature		1/3	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	45	100%	

# Modélisation numérique 1

## Présentation

This course introduces the basic numerical methods used to solve fluid mechanics problems (finite differences, spatial discretization, integration in time, accuracy, order, convergence, stability). The course is taught in English. Practicing is an essential part of the course. The programming language is Python.

**4 crédits ECTS**

Volume horaire

Cours Magistral : 9h

Travaux Dirigés : 21h

## Objectifs

Objectives

Acquire the foundation concepts of numerical modelling. Be able to implement numerical methods in Python. Be able to test and validate a numerical code.

## Pré-requis nécessaires

Pre-requisites

Linear algebra, ordinary differential equations

## Compétences visées

Abilities provided

Identify numerical methods for problem solving and validate results ; know and know how to use numerical simulation codes to tackle complex problems

## Descriptif

Contents

Classes are done in computer rooms, they blend theory and practice with a computer. Small homework are asked from one class to another. The final mark is composed of a final exam (50 % of the mark), in computer room, and of two personal projects (25% each). The course is split in two parts

Part 1: Spatial discretization

- > finite vs volume methods
- > staggered grid
- > boundary conditions
- > matrix representation
- > eigenvectors and eigenvalues
- > iterative methods to solve system of equations

Part 2: Integration of ordinary differential equations

- > order, convergence, stability
- > explicit vs implicit schemes
- > Runge Kutta methods
- > multi-stages methods

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	50%	
	CC	Ecrit - devoir maison		50%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	30	100%	

# Analyse de données 1 - Data Analysis 1

## Présentation

This course concentrates on the basic concepts of two aspects of data analysis indispensable for a scientist working in any field : spectral methods and statistical methods. The emphasis is on the practical implementation (using Python language) although some elements of the theory are also considered. This course is taught in English.

### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 17h

Travaux Dirigés : 15h

Travaux Pratiques : 6h

## Objectifs

Objectives

The goal of this course is to provide the students with a sound knowledge of the basics of the data analysis via practical examples.

## Pré-requis nécessaires

Pre-requisites

Calculus, scientific programming at L3 level

## Compétences visées

At the end of this course, the student should be able to:

- > Select an appropriate method to analyze laboratory, insitu, modelling data, and address a specific problem
- > Implement numerically a data analysis method using Python in order to tackle a scientific problem
- > Validate the results obtained and identify the limitations of the method

## Descriptif

Contents

The course consists of 2 parts:

### 1. Spectral analysis

Fourier series, Fourier Transform, Discrete Fourier Transform. Calculation of the different spectral representations of the signal : Linear and Power spectrum, Power spectral density. Zero-padding in time and frequency domain. Sampling theorem. Spectral leakage and window functions. Random signal, estimation of the Power spectral density of random signals and confidence intervals of the Power spectral density estimates. Spectrograms. According to the time available : the basics of the numerical filtering.

### 2. Statistical analysis

Students will learn to:

- Choose and use appropriate descriptive measures and visualization methods to summarize data; identify outliers in a data set
- Interpret a graph of a probability density function; identify and generate data drawn from the normal distribution; test whether or not data conform to a given probability distribution
- Construct confidence intervals; propagate errors
- Perform and interpret a hypothesis test, adjusting for sample size where necessary; explain the notion of statistical power
- Implement all of the above methods using Python

Classes comprise a mix of theory and practical work.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	50%	
	CC	Autre nature		50%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	100%	

# Programmation scientifique

## Présentation

This course provides elementary and advanced knowledge on scientific programming. Courses are mainly hands-on sessions in PYTHON aiming at teaching students how to design and implement efficiently some scientific algorithms designed for data analysis and numerical modelling.

## Objectifs

Equip students with the numerical skills to implement their own programs for numerical modelling and data analysis purposes:

- > programming skills in python, a widely used open-source programming language among the scientific community
- > techniques to implement efficient algorithms designed for data analysis and scientific calculus
- > elementary knowledge to read files, and plot data

## Pré-requis nécessaires

elementary notions of scientific programming (variables, arrays, indexing, loops)

## Compétences visées

- > Build an algorithm that carries out intense scientific calculation
- > Implement an algorithm in a programming language

## Descriptif

Classes consist in computers hands-on sessions using *Jupyter-Notebook*. Students test some standard python commands, learn some elementary programming techniques, and implement their own codes. Homework can be given from one session to another, but most of the expected work consists in cleaning and commenting the notebook written during the class, so that seen commands and techniques can be re-use efficiently in more complex programs at the following session. The final mark is composed of a final exam (50 % of the mark) and of one personal project (50%). The course contents is made of the following:

- > Introduction to python and numpy: variables, lists, arrays, indexing
- > Design and coding of an algorithm: for loops
- > First steps towards efficiency programming : functions, vectorization, boolean indexing
- > Reading text, binary, and Netcdf files
- > Visualizing data

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
Autres	CT	Autre nature	120	50%	
Autres	CC	Ecrit - devoir surveillé		50%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
Autres	CT	Oral	30	100%	

### 2 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 7h

Travaux Dirigés : 8h

Travaux Pratiques : 5h

## Inter SML

### Présentation

L'UE InterSML a pour finalité d'initier les étudiants à la pluridisciplinarité en les sensibilisant aux questionnements scientifiques autour d'une thématique commune de sciences de la Mer et du littoral. Cette UE permet d'aborder la démarche d'observation : de l'acquisition de la donnée, l'exploitation de celle-ci, aux différentes méthodes d'interprétation propre à chaque discipline.

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 20h

### Objectifs

De par son dispositif d'*active learning*, l'UE InterSML permet de faire du lien entre les étudiants de Master 1 de toutes mentions SML, mais aussi de développer de nombreuses compétences transverses comme l'adaptabilité ou l'empathie. Cette UE propose également une première ouverture à l'interdisciplinarité et une acculturation aux enjeux sociétaux.

### Pré-requis nécessaires

aucun

### Compétences visées

- > Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances
- > Prendre des responsabilités pour contribuer aux savoirs et aux pratiques professionnelles
- > Analyser ses actions en situation professionnelle
- > Conduire un projet pouvant mobiliser des compétences pluridisciplinaires dans un cadre collaboratif
- > S'approprier les enjeux environnementaux et sociétaux actuels et futurs et développer une conscience critique des savoirs dans un domaine et/ou à l'interface de plusieurs domaines
- > Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines

### Descriptif

Cette UE est menée en mode projet pluridisciplinaire. Elle est commune à plusieurs mentions de Master du domaine SML. Une thématique commune de travail pour les ateliers est choisie collégalement. Cette thématique peut varier selon les années. Cette UE est découpée en trois séquences :

#### Première séquence

4 d'ateliers disciplinaires sont suivis par les étudiants. Pour ces ateliers, des groupes pluridisciplinaires sont formés afin de favoriser l'exploration disciplinaire par le prisme étudiant. Ces ateliers se déroulent sur 4 jours avec des ateliers par ½ journée.

#### Deuxième séquence

Temps de travail autonome, par groupes préalablement construits, afin de préparer la restitution évaluative. Deux séances de suivi de projet ou bilan d'étape. Ces séances se font en commun avec tous les groupes afin que les étudiants partagent leurs avancées et expriment leurs difficultés si besoin à l'ensemble de l'équipe pédagogique et des autres étudiants. C'est également l'occasion d'affiner leur thématique d'exploration choisie pour l'évaluation.

#### Troisième séquence: Journée « interdisciplinarité et formation »

La matinée de cette journée est consacrée à la l'évaluation sous forme de restitution orale de 30 minutes (15 minutes de présentation et 15 minutes de question) devant un jury. Une restitution écrite individuelle concise (1 page maximum) doit-être remise en amont de cette restitution orale. L'après-midi les étudiants de M1 doivent assister aux restitutions des travaux des M2, sous le format d'une simulation de Conférence des Parties (COP) et dans la présentation des accords locaux trouvés pour répondre aux ODD.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - rapport		20%	
	CT	Oral - exposé	30		

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - rapport		100%	

## Anglais S7 Physique

### Présentation

The tools for an efficient scientific communication in English will be mastered through extensive written (reports, synthesis, ...) and oral (debates, presentations, ...) activities. These activities may be parts of projects developed and implemented with other teachings.

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 20h

### Objectifs

Equip students with the skills and knowledge necessary to communicate efficiently and unequivocally with fellow scientists as well as novices.

### Pré-requis nécessaires

Grammatical & Lexical basics acquired within the frame of a Scientific Bachelor's Degree.

### Compétences visées

- > B2-level Mastery of the 5 main language skills (Reading and Listening comprehension, Written Expression and Oral (both Continuous and Interacting) Expression).
- > Ability to present activities and/or results.
- > Ability to argue in the defense of a position.
- > Constructive debating skills.
- > Efficient negotiation skills.
- > Ability to advise by means of reports.
- > Ability to ease decision-making by means of synthesis.

### Descriptif

- > Job search in English,
- > Correct use of English tenses in scientific presentations (oral and written),
- > Writing of reports and synthesis,
- > Discussing scientific results ...

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
Autres	CC	Ecrit et/ou Oral		50%	
Autres	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	50%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
Autres	CT	Oral	30	100%	

# Bases en architecture et ingénierie navales 1

## Présentation

L'objectif de cette UE est de poser des bases essentielles pour la boucle de conception des navires et plateformes navales. Elle aborde la théorie de stabilité des navires et la réglementation associée, une introduction à la résistance à l'avancement des navires et une introduction à la structure navale et au concept de la poutre navire. Cette UE donne les bases prérequis pour les cours ou projets plus avancés en S8 et M2, spécifiques au projet navire.

### 3 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 28h

Travaux Dirigés : 10h

## Objectifs

- > Connaître la théorie de la stabilité des navires et les principaux critères réglementaires
- > Mise en application avec un logiciel de calcul de stabilité des navires
- > Connaître les bases en résistance à l'avancement des navires
- > Connaître les bases en structures navales

## Pré-requis nécessaires

Mécanique des Fluides dont analyse dimensionnelle, hydrostatique et couche limite ; Mécanique des Solides Déformables dont théorie des poutres

## Descriptif

**Théorie de stabilité des navires (12CM+4TD) :** les différents critères réglementaires associés (stabilité à l'état intact, stabilité après avaries, approche probabiliste) ; la réalisation d'un premier cas d'étude académique avec un logiciel professionnel.

**Introduction à la résistance à l'avancement des navires (8CM+4TD) :** coefficients adimensionnels caractéristiques, décomposition de la résistance, résistance de frottement, résistance de vagues, essais.

**Introduction à la structure navale (8CM+4TD) :** éléments généraux, vocabulaire spécifique, modèle de la poutre navire, notion de coupe au maître)

## Bibliographie

Grinnaert F., Laurens J.M., « Stabilité du navire », ellipse, 2013

Hervieu R., « Statique du navire », Masson, 1985

Doutreleau Y., Laurens J.M., Jodet L., « Résistance et propulsion du navire », ellipse, 2011

Newman J.N., « Marine hydrodynamics », MIT Press, 1977

Zubaly R.B., « Applied naval Architecture », Schiffer Publishing Ltd

Lehmann E., « Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering / Detailed Structural Design / Marine Ship Structures », Wiley

Pradillon J.Y., et al., « Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering / Detailed Structural Design / Structural Design Methods and Documentation », Wiley

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	100%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	100%	

# Introduction hydrodynamique navale 1

## Présentation

L'objectif de cette UE est de poser des bases essentielles pour la simulation numérique des écoulements turbulents à grand nombre de Reynolds d'une part et pour l'étude des corps portants d'autre part. Un cas d'étude académique est traité suite aux cours théoriques avec un code CFD RANSE généraliste, avec confrontation expérimental vs numérique. Les connaissances acquises serviront de socle pour les cours et/ou projets plus avancés du S8 et du M2.

### 5 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 36h

Travaux Dirigés : 24h

## Objectifs

- > Connaître qualitativement les grandes caractéristiques et les problématiques associées aux écoulements incompressibles à grand nombre de Reynolds
- > Connaître les principes des méthodes RANSE et des modèles de fermeture standards au premier ordre à une ou deux équations (SA, k-epsilon, k-omega)
- > Connaître les écoulements de type couche limite, les implications pour les maillages au voisinage d'une paroi et avoir des outils pour leur dimensionnement en pratique
- > Avoir mis en application un code CFD RANSE généraliste sur un cas d'étude simple, avec confrontation des résultats à l'expérience
- > Connaître l'approximation du fluide parfait et la notion de méthode des singularités en 2D
- > Connaître les bases de théorie des ailes en régime incompressible

## Pré-requis nécessaires

Mécanique des Fluides dont analyse dimensionnelle ; Mathématiques (calcul matriciel, différentiel et intégral, calcul en base orthonormée, équations aux dérivées partielles, équations différentielles, analyse numérique).

## Descriptif

**Phénoménologie de la turbulence [8CM+4TD]:** les principes de l'approche statistique (équations de Reynolds) et des modélisations associées (modèles RANSE standards)

**Écoulements de couche limite et les implications sur le dimensionnement d'un maillage au voisinage d'une paroi [12CM]:** équations de Prandtl, solutions laminaires de Blasius et de Falkner-Skan, décollement, caractéristiques et équations intégrales, principe des couplages pour les fluides parfaits, couche limite, couche limite turbulente et loi de paroi standard)

**Travaux Pratique avec un code CFD RANSE généraliste [12TD]:** grand décollement en aval d'une marche, avec confrontation expérimental vs numérique

**Introduction aux écoulements potentiels [4CM]:** généralités, potentiel complexe et singularités élémentaires en 2D

**Éléments de théorie des ailes en régime incompressible [12CM+4TD]:** généralités, théorie linéarisée des sections d'ailes en 2D, modélisations de type ligne portante en 3D

## Bibliographie

- Bailly C., Comte-Bellot G., « Turbulence », CNRS éditions, 2003 / Bailly C., Comte-Bellot G., « Turbulence », Springer, 2015  
Schiestel R., « Méthodes de modélisation et de simulation des écoulements turbulents », Hermès-Lavoisier, 2006 / Schiestel R., « Modeling and Simulation of Turbulent Flows », Wiley-ISTE, 2007  
Sagaut P., « Large eddy simulation for incompressible flows : an Introduction », Springer, 3rd printing, 2005  
Wilcox D.C., « Turbulence modeling for CFD », DCW Industries, 2nd printing, 1994  
Cousteix J., « Aérodynamique : couche limite laminaire », Cépaduès éditions, 1988  
Cousteix J., « Aérodynamique : turbulence et couche limite », Cépaduès éditions, 1989  
Cebeci T., Cousteix J., « Modeling and computation of boundary-layer flows : laminar, turbulent and transitional boundary layers in incompressible and compressible flows », Springer, 2005  
Katz J., Plotkin A., « Low-speed aerodynamics », Cambridge University Press, 2001  
Abbott I.H., von Doenhoff A.E., « Theory of wing sections : including a summary of airfoil data », Dover Publication, 1959  
Bonnet A., Luneau J., « Aérodynamique : théories de la dynamique des fluides », Cépaduès éditions, 1989  
Giovannini A., Airiau C., « Aérodynamique fondamentale », Cépaduès éditions, 2016  
Newman J.N., « Marine hydrodynamics », MIT Press, 1977

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	1/3	Turbulence et couche limite
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	1/3	Théorie des ailes
UE	CT	Ecrit - rapport		1/3	Étude CFD

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - rapport		100%	

## Fluides 2

### Présentation

In this course students will learn to identify the physical processes involved in a perturbed fluid system, and to analyse and describe stable and unstable responses. The course is taught in English.

### Objectifs

On completing this course, students will be able to identify the physical processes at play in a fluid subject to a perturbation, to express these processes mathematically, and to solve the system. Students will be able to both analyse mathematically and reason physically about the evolution of the system.

### Pré-requis nécessaires

An introductory course in fluid dynamics, (vector) calculus

### Compétences visées

Applying theory, analytical and numerical methods to analyze the behavior of a perturbed fluid system

### Descriptif

#### Waves

- > Fundamental ideas (kinematics, propagation, wavegroup properties, ray theory) and methods of analysis
- > Applications : surface gravity waves, acoustic waves

#### Instabilities

- > Fundamental ideas (introduction to hydrodynamic stability and unstable growth, relevant characteristic numbers) and methods of analysis (linear stability analysis)
- > Applications : Kelvin-Helmholtz instability, parallel shear instability, Rayleigh-Bénard convection

#### Chaotic behaviour

- > Introduction to chaotic systems and sensitive dependence on initial conditions ; the transition to turbulence
- > Applications : Rayleigh-Bénard convection

Classes comprise a mix of mathematical derivation and discussion of the underlying physical processes. Students develop skills in applying the appropriate methods of analysis during problem classes. Accompanying practical work supports each of the three main sections, and allows students to apply the methods to real data.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	50%	
	CC	Autre nature		50%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	45	100%	

#### 5 crédits ECTS

Volume horaire

Travaux Pratiques : 5h

Cours Magistral : 19h

Travaux Dirigés : 23h

# Mathématiques appliquées 2

## Présentation

This course aims at introducing exact and approximate solutions of partial differential equations to the students. In particular, parabolic (diffusion) equations, hyperbolic (wave and transport) equations and elliptic (Poisson and Laplace) equations are introduced, and are solved in finite or in infinite domains. Functional transforms (Fourier and Laplace) are introduced and are used to solve these equations. A link with domains of physics in which these equations are used is made. A connection with numerics is also given at the end of the course, to relate the theoretical results with numerical results.

This course is taught in English.

### 3 crédits ECTS

Volume horaire

Travaux Dirigés : 19h

Cours Magistral : 14h

## Objectifs

This is an essential course for all fluid dynamics courses (GFD, fluid-solid interactions) and more generally for all of physics (electromagnetism for instance). Partial differential equations govern the evolution of physical phenomena in many fields (subatomic physics, microscopic physics, physics of solids and of fluids, electromagnetism...)

## Pré-requis nécessaires

- > mathematical analysis : ODEs, real functions of several variables, geometry of curves and surfaces, vector analysis ;
- > physics : classical mechanics, electromagnetism.

## Compétences visées

- > ability to validate numerical results with theoretical results
- > problem solving in fluids
- > global approach (holistic approach) to problem solving
- > building numerical algorithms for professional purposes

## Descriptif

Introduction/ description of PDEs, basic theory

### Part I / Parabolic equations

- > solution in a finite domain
- > solution in a semi infinite or an infinite domain

### Part II / Hyperbolic equations

#### A) second order wave equations

- > solution in a finite domain
- > solution in a semi infinite or an infinite domain

#### B) first order transport equations

- > linear equations
- > nonlinear equations / shocks
- > systems of equations

### Part III / Elliptic equations

- > Laplace equation
- > Poisson equation

Complement : first integrals, nonlinear diffusion equations, Korteweg-DeVries equation

## Bibliographie

Partial differential equations for scientists and engineers (available on the web)

## Modalités de contrôle des connaissances

---

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	150	3/4	
	CC	Ecrit - devoir maison		1/4	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	30	100%	

# Modélisation numérique 2

## Présentation

This course presents the numerical methods used to integrate partial differential equations that arise in computational fluid dynamics (CFD): from the building blocks such as transport equation and wave equation, to full nonlinear systems of equations. The course is taught in English. Practicing is an essential part of the course. The programming language is Python.

### 2 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 8h

Travaux Dirigés : 12h

## Objectifs

Acquire the theoretical knowledge on which the computational fluid dynamics codes are based. Develop the critical reasoning on numerical results by knowing the potential weaknesses (e.g. instability, dispersion, excessive dissipation etc) and the various techniques to overcome them. Identify the various components of a CFD code and the impact its numerical parameters.

## Pré-requis nécessaires

numerical modelling 1, fluid mechanics 1, scientific programming

## Compétences visées

identify numerical methods for problem solving and validate results ; know and know how to use numerical simulation codes to tackle complex problems

## Descriptif

Classes are done in computer rooms, they blend theory and practice with a computer. Small homework are asked from one class to another. The final mark is composed of a final exam (50 % of the mark), in computer room, and of one personal project (50%). The course covers

- > integration of the heat equation
- > integration of the transport equation (including nonlinear methods)
- > integration of the wave equation
- > integration of the Euler equations (blending transport and Poisson equation)
- > integration of the rotating shallow water equations

The numerical techniques presented in the course range from the standard ones to more advanced and recent ones. The course is a good compliment of the applied mathematics and fluid mechanics ones.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	150	50%	
	CC	Autre nature		50%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	30	100%	

## Analyse de données 2

### Présentation

This course introduces “classic” elementary linear methods widely used for the analysis of insitu, satellite, numerical modelling data. Classes are hands-on sessions with computers during which students are taught to implement numerical algorithms in order to tackle specific problems of “fitting”, interpolation, principal component analysis. Some of these methods will be applied to real insitu physical data collected on board research vessel *Albert Lucas* during a day trip at sea in the bay of Brest.

#### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 7h

Travaux Pratiques : 4h

Travaux Dirigés : 21h

Terrain : 6h

### Objectifs

In addition to mastering the numerical implementation of the algorithm, students should understand the domain of application and the limitations of the fore-seen methods in order to re-use and adapt them for specific problems.

### Pré-requis nécessaires

elementary knowledge in linear algebra, scientific programming, python, statistics.

### Compétences visées

- > Identify a data analysis method to tackle a specific problem
- > Build and adapt efficiently numerical algorithms designed for data analysis purposes
- > Validate the results obtained (error estimation)
- > Estimate the spatial and time interactions within a system using deterministic correlations

### Descriptif

During this course, Students will be taught some key elementary linear methods used for the analysis of data either collected from insitu and satellite observations, or produced by the integration of numerical models. Classes will be mostly composed of hand on sessions using *Jupyter-Notebook*, during which students implement numerical algorithms. The course is organized in 5 chapters:

1. linear regression and least square fitting
2. piecewise linear and cubic interpolation
3. optimal interpolation
4. 2D fourrier spectrum
5. empirical orthogonal functions

Students will handle a written report of the analysis of the physical insitu data collected at sea.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	50%	
	CC	Autre nature		25%	
	CC	Ecrit - rapport		25%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	30	100%	

## Oral scientifique

### Présentation

This course aims at preparing students to give scientific talks in English. Scientific oral presentations are built upon special format, and must be designed in order to answer a specific scientific question and deliver key scientific messages in a synthetic manner. During this course, students will practice their oral skills by giving short scientific presentations on different types of scientific subjects.

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 15h

Cours Magistral : 2h

### Objectifs

This course aims at preparing students to give scientific talks in English

### Pré-requis nécessaires

elementary english speaking

### Compétences visées

Students will learn how to present in English some scientific results in a limited amount of time, respecting the time line, controlling their body language. They will work on the organization of their ideas in order to build clear and synthetic slides, and deliver clear scientific messages adapted to their audience

### Descriptif

During this course, Students will be taught some elementary rules to follow when giving an oral presentation. They will practice their oral skills by giving 4 or 5 short (~15 min max) scientific presentations (one at each session) in front of their class-mates. Each presentation will be analyzed collectively in order to highlight how one may improve his/her body language, slides, organization of ideas, scientific content so that the audience gets delivered a key scientific message to walk away with.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		100%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	30	100%	

## Formation biblio & projet individuel

### Présentation

Cette UE se compose

- > d'une formation aux outils de la recherche bibliographique par le personnel de la bibliothèque universitaire
- > de présentation par des professionnels et des doctorants des débouchés possibles après le M2

#### 2 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 2h

Travaux Dirigés : 15h

### Objectifs

- > savoir mener une recherche bibliographique sur un sujet nouveau
- > savoir faire une synthèse de sa recherche
- > savoir utiliser et citer ses références dans un document

### Pré-requis nécessaires

aucun

### Compétences visées

- > savoir retrouver un pdf sur internet
- > être sensibilisé aux problèmes de déontologie quant à l'utilisation du travail d'autrui
- > bien comprendre la distinction entre plagiat et citation.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Ecrit - rapport		100%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Ecrit - rapport		100%	

## Bases en architecture et ingénierie navales 2

### Présentation

Cette UE fait suite à l'UE Bases en Architecture et Ingénierie Navales 1 du S7. L'objectif est d'une part de poser des bases essentielles pour la boucle de conception des voiliers. Elle aborde l'équilibre sous voiles et la notion de VPP, ainsi que des éléments de structure et de matériaux composites pour le dimensionnement. D'autre part elle comprend un cas d'étude pratique de résistance à l'avancement via des simulations numériques fines.

#### 3 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 20h

Travaux Dirigés : 28h

### Objectifs

- > Connaissances générales sur l'architecture des voiliers, leur structure composite et le prédimensionnement de ses éléments (poutre navire, espars et appendices)
- > Connaissances sur la mécanique et l'équilibre des voiliers et programmer un VPP élémentaire
- > Première expérience d'un calcul de résistance à l'avancement avec un code de CFD RANSE à surface libre

### Pré-requis nécessaires

Stabilité du Navire ; Théorie des Ailes ; Résistance à l'Avancement ; Mécanique des Solides Indéformables ; Mécanique des solides déformables

### Descriptif

**Architecture et structure composite des voiliers (8CM+4TD)** : réalisation de tableurs de calculs de prédimensionnement ; introduction aux méthodes de réalisation

**Mécanique et l'équilibre du voilier (12CM+8TD)** : modélisation des torseurs des efforts aérodynamique et hydrodynamique ; réalisation d'un VPP élémentaire.

**Cas d'étude appliqué et réaliste (16TD)** : mise en oeuvre d'un calcul fin de courbe de résistance à l'avancement avec le logiciel FineMarine

### Bibliographie

Aero-Hydrodynamics of Sailing 3rd edition : C A Marchaj ; ISBN 0-7136-5073-7

Architecture navale, Connaissance et pratique: Dominique Presles & Dominique Paulet ; ISBN 2-915456-14-3

Engineering Basics of Sailing: Peter Schenzle ; Lecture Notes, ENSIETA 2004

High Performance Sailing: Frank Bethwaite ; ISBN 978-0-7136-6704-2

Principles of Yacht Design 3 rd edition: Lars Larsson & Rolf E. Eliasson ; ISBN-10: 0-07-148769-7

Sailpower, The Science of Speed: Lawrie Smith & Andrew Preece ; ISBN 0-906754-99-2

The Art and Science of Sails: Tom Whidden & Michael Levitt ; ISBN 0-229-11888-7

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CC	Ecrit - rapport		100%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - rapport		100%	

# Introduction à l'hydrodynamique navale 2

## Présentation

Cette UE fait suite à l'UE Introduction Hydrodynamique Navale 1 du S7 avec pour objectif de compléter et de pratiquer les bases essentielles pour l'hydrodynamique introduite au semestre précédent. Elle traite d'une part des écoulements potentiels à surface libre et de la théorie de la houle, ainsi que des méthodes intégrales pour la simulation numérique des écoulements potentiels. Elle comprend d'autre part des compléments de CFD (méthode des volumes finis, méthodes LES et RANSE-LES), ainsi qu'un second cas d'étude appliqué (théorie des ailes).

### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Travaux Dirigés : 28h

Cours Magistral : 44h

## Objectifs

- > Connaître les bases en écoulements potentiels à surface libre et théorie de la houle
- > Connaître les bases en méthodes intégrales pour la simulation des écoulements potentiels
- > Appréhender la mécanique du vol et les notions de masses et d'inerties ajoutées
- > Pratiquer la CFD RANSE et Potentiel/Couche Limite sur des cas d'études de corps portants

## Pré-requis nécessaires

Mécanique des Fluides ; Turbulence et Couche Limite ; Mathématiques (calcul matriciel, différentiel et intégral, calcul en base orthonormée, équations aux dérivées partielles, équations différentielles, analyse numérique).

## Descriptif

**Écoulements potentiels à surface libre et la théorie de la houle (28CM+8TD) :** méthodes intégrales générales et méthodes des singularités pour la simulation numérique des écoulements potentiels ; introduction à la notion de masses et d'inerties ajoutées (milieu infini), introduction aux équations de la mécanique du vol.

**Application avec des logiciels CFD RANSE et Potentiel/Couche Limite (16TD) :** cas d'étude sur des problématiques pratiques issues de la théorie des ailes.

**Turbulence et méthodes numérique de modélisations de type LES et mixtes RANSE-LES (16CM+4TD) :** introduction à la méthode des volumes finis et à la résolution numérique des équations de Navier-Stokes, étude de différents schémas numériques sur la résolution de l'équation de convection-diffusion en 1D

## Bibliographie

Newman J.N., « Marine hydrodynamics », MIT Press, 1977

Mei C.C., « The applied dynamics of ocean surface waves », Edt. J Wiley & Sons, 1983

Bousquet J., « Méthode des singularités », Cépaduès Editions, 1990

Bonnet M., « Equations intégrales et éléments de frontière », CNRS Editions / Eyrolles, 1995

Katz J., Plotkin A., « Low-speed aerodynamics », Cambridge University Press, 2001

Schiestel R., « Méthodes de modélisation et de simulation des écoulements turbulents », Hermès-Lavoisier, 2006 / Schiestel R., « Modeling and Simulation of Turbulent Flows », Wiley-ISTE, 2007

Sagaut P., « Large eddy simulation for incompressible flows : an Introduction », Springer, 3rd printing, 2005

Hirsch C., « Numerical Computation of Internal and External Flows », Volume 1 & 2, Wiley, 1990

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	120	20%	Théorie de la houle et
UE	CC	Ecrit - devoir surveillé	120	20%	Méthodes intégrales
UE	CC	Ecrit - rapport		60%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - rapport		100%	

# Projets Architecture et hydrodynamique navale

## Présentation

L'objectif de cette UE est de mettre en pratique les notions fondamentales abordées en S7 et S8, dans le cadre de deux projets appliqués. Le premier concerne un avant-projet de navire à développer sur trois volets comportant de l'interdisciplinarité. Le second concerne un problème d'hydrodynamique navale à traiter numériquement, avec développement d'un petit code de calcul.

**3 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 64h

## Objectifs

- > Concrétiser les acquis d'apprentissage du M1 sur des applications pluridisciplinaires
- > Mettre en œuvre des logiciels professionnels spécifiques à l'ingénierie du secteur naval
- > Programmer et mettre en œuvre des méthodes numériques
- > Développer l'autonomie et la transversalité

## Pré-requis nécessaires

UE Bases en Architecture et Ingénierie Navales S7 et S8, UE Introduction Hydrodynamique Navale S7 et S8, UE Mathématiques appliquées 1 et 2, UE Modélisation Numérique 1 et 2, UE Programmation Scientifique

## Descriptif

Suite aux apports fondamentaux pour l'architecture et l'ingénierie navale, l'objectif est d'une part d'appliquer les notions sur un cas pratique et de manipuler un exemple de suite de logiciels spécifiques utilisée pour la boucle navire. L'application est réalisée sur un avant projet de navire très sommairement initialisé (un RoRo) qu'il va s'agir de développer plus avant avec les logiciels dédiés : Rhino(general arrangement), GHS(stabilité), Poséidon(structure), en prenant en compte les interactions entre les disciplines et certaines contraintes réglementaires sous-jacentes. Le mode projet est recherché pour ce travail et l'autonomie des étudiants encouragée autant que la prise en main des outils métiers le permet. Les notions complètes de boucle de conception et de sa convergence ne sont pas abordées, cependant des premières interactions entre les disciplines mises en jeu, nécessitant des sous-itérations, sont réalisées ; par exemples interaction GA-Structure-Stabilité(devis poids, cloisonnement, épontillonnage vis à vis du cahier des charges) et interaction Résistance-Motorisation-Stabilité (performance, choix du moteur vis à vis du cahier des charges). L'évaluation est réalisée via un rapport, comportant des éléments imposés permettant en particulier de jauger la cohérence des travaux menés.

Suite aux apports fondamentaux en hydrodynamique, l'objectif est d'autre part d'appliquer les notions ou les méthodes sur un projet numérique pratique en hydrodynamique navale. Ce projet numérique concret d'application des connaissances est une première expérience importante pour le projet de recherche du M2. Plusieurs sujets sont proposés aux étudiants, éventuellement répartis en binômes. Les sujets sont suffisamment cadrés pour pouvoir aboutir en mode projet avec une grande autonomie des étudiants et dans le temps imparti. L'accent est mis sur la résolution numérique des problèmes posés avec développement d'un petit code et libre choix des outils et/ou des langages de programmation. L'évaluation des travaux est réalisée par une soutenance courte qui doit synthétiser le problème, la modélisation, la résolution, les tests numériques réalisés (convergences, vérifications, etc.) et les résultats obtenus.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - rapport		100%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - rapport		100%	

# Anglais Scientifique

## Présentation

Il s'agit de présenter aux étudiants l'évolution de la science et de la méthode scientifique à travers les temps et le lien entre la réalisation de la recherche scientifique et l'écriture ou la communication de ses résultats. Ensuite les étudiants apprendront à rédiger et à présenter des sujets scientifiques en anglais et verront comment rendre l'écriture scientifique en anglais la plus efficace possible.

We present the evolution of scientific writing through history, then we teach how to write a summary, a short subject, in English; the plan of a report or the building of a scientific article is taught; rules are provided; we describe how to do convincing oral presentations

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 20h

## Objectifs

Students will learn how to write convincingly in English, how to properly develop on a subject and how to present it orally

## Pré-requis nécessaires

M1 in marine physics

## Compétences visées

Abilities in article writing and summary, writing a report; oral expression, brief knowledge of the history of science

## Descriptif

1. History of science and of scientific communication: evolution of methods, approaches, and communication
2. Different modes of scientific communication : *reports, manuscripts, scientific articles, oral presentations, posters. Class work by groups on examples and use of scientific literature.*
3. How to efficiently communicate in English : *Structuration of the information, flow of the text, traps to avoid.*

## Bibliographie

John Losee (1993) *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*. Oxford: Oxford UP.

David Jones, and David Kaiser. *STS.003 The Rise of Modern Science, Fall 2010*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare), <http://ocw.mit.edu>

<http://www.nature.com/scitable/ebooks/english-communication-for-scientists-14053993/contents>

<https://cgi.duke.edu/web/sciwriting/index.php>

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		100%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			oral commun de 40mn pour toutes les matières

## Projet de recherche

### Présentation

Le projet de recherche est une activité personnelle encadrée par un enseignant de la formation membre d'un laboratoire auquel elle est adossé . Il consiste en l'étude analytique, expérimentale ou numérique d'une problématique originale, mais limitée en ampleur, de l'hydrodynamique Navale.

10 crédits ECTS

### Objectifs

L'objectif est de mettre concrètement en application les connaissances acquises au travers des différentes activités pédagogiques (Cours, TD, TP).

Le sujet doit être choisi au début du semestre 9, de manière à ce que les étudiants se projettent directement dans une applications concrète et pratique des cours qu'ils suivent.

### Pré-requis nécessaires

Stabilité du navire, conception de voilier I et II, Résistance et propulsion, Tenue à la mer et manœuvrabilité, Méthodes numériques avancées, Méthodes expérimentales, turbulence.

### Compétences visées

Autonomie, Analyse, synthèse des connaissances acquises, restitution du travail réalisé sous forme de rapport et d'une présentation orale.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

## Turbulence et écoulements cisailés

**3 crédits ECTS**

Volume horaire

Cours Magistral : 15h

# Résistance, avancement, propulsion

## Présentation

L'objectif de cette UE est d'acquérir une connaissance pratique des différentes méthodes pour calculer la résistance à l'avancement d'une carène en eau calme, ainsi que pour calculer les efforts sur le propulseur.

### 3 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 18.5h

Travaux Dirigés : 7.5h

## Objectifs

L'étudiant met en pratiques les principes fondamentaux théoriques vus dans l'UE Introduction à l'Hydrodynamique Navale. Il acquière une vue d'ensemble des techniques statistiques, expérimentales ou des méthodes de calcul numériques à sa disposition aujourd'hui pour aborder les problèmes de résistance et de propulsion d'un navire.

## Pré-requis nécessaires

Introduction à l'Hydrodynamique Navale, couche limite et turbulence, Onde de gravité, méthode des singularités, écoulement potentiel. Fluide I, Fluide II

## Compétences visées

connaissance pratique des différentes méthodes pour calculer la résistance à l'avancement d'une carène en eau calme, ainsi que pour calculer les efforts sur le propulseur.

## Descriptif

Méthodes statistiques. Principes physiques, dièdre de Kelvin. Méthode d'extrapolation des essais au réel. Principe de Froude. Méthode de Prohaska. ITTC 78. Méthode de calcul numériques. Méthode des singularités, singularités de Rankine, de Kelvin, méthode de Dawson. RANSE.

Pour la partie propulsion, les conventions adoptées par la communauté internationale sont présentées (KT, KQ, rendement, nombre d'avance, géométrie). Le dimensionnement à l'aide de série systématique (B-series, Kaplan) est illustré à l'aide d'exercices

L'enseignement s'effectue pour une partie importante en cours magistral avec une application de la méthode ITTC 78 pour l'extrapolation de mesures expérimentales. Des applications avec l'utilisation de codes numériques industriels spécialisés sont réalisés dans l'UE Méthodes numériques avancées.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	240	100%	UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	240	100%	UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

# Manoeuvrabilité, tenue à la mer

## Présentation

L'objectif de cette UE est d'acquérir une vue d'ensemble des techniques statistiques, expérimentales et les méthodes de calcul numériques à sa disposition aujourd'hui pour aborder les problèmes de manoeuvrabilité et de tenue à la mer aussi bien dans un cadre industriel ou de recherche.

### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Cours Magistral : 31h

Travaux Dirigés : 4h

## Objectifs

L'étudiant met en pratiques les principes fondamentaux théoriques vus dans l'UE Introduction à l'Hydrodynamique Navale. A la fin de l'UE il détient les éléments de base pour aborder les problèmes pratiques et théoriques. Il est en mesure de traiter ses problèmes pour le projet de recherche et le stage du semestre 10 en s'appuyant le cas échéant sur une étude bibliographique. Il est en mesure également d'aborder avec le recul nécessaire l'UE Méthode Numériques avancées.

## Pré-requis nécessaires

Introduction à l'Hydrodynamique Navale, couche limite et turbulence, Onde de gravité, Houle, scatter diagram, méthode des singularités, écoulement potentiel. Fluide I, Fluide II

## Compétences visées

connaissance des techniques statistiques, expérimentales et des méthodes de calcul numériques pour les problèmes de manoeuvrabilité et de tenue à la mer, dans un cadre industriel ou de recherche.

## Descriptif

Méthodes statistiques. Principes physiques. Résolution des équations du mouvement, modélisation des efforts hydrodynamiques en série de Taylor. Modèle paramétrique de Clarke. Le cours aborde les différentes méthodes numériques (singularités, Ligne portante, surface portante, volume, RANSE) et expérimentales (essais en bassin et au réel). Le cas du dimensionnement du safran est traité en détail, avec prise en compte des différents phénomènes physiques en jeu (portance, traînée, tube hélice, fraction de sillage, coefficient de déduction de poussée, rendement de carène)

Rappel sur l'environnement (Modélisation de la houle, houle élémentaire (régulière), principe de superposition, propriétés statistiques, Modélisation du vent, Modélisation du courant).

Les problèmes posés (Navires conventionnels, Structures offshore, Autres concepts: EMR)

Tenue à la mer au point fixe( Equations en théorie potentielle ; Linéarisation du problème aux limites ; Superposition de problèmes ; Equations du mouvement ; Résolution numérique et codes industriels)

L'enseignement s'effectue pour une partie importante en cours. Des applications avec l'utilisation de codes numériques industriels spécialisés sont réalisées en tenue à la mer dans le cadre d'une boucle de conception d'un navire et dans l'UE Méthodes numériques avancées

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	120		Partie Manoeuvrabilité
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	60		Partie tenue à la mer

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	120		Partie Manoeuvrabilité
UE	CT	Ecrit - devoir surveillé	60		Partie tenue à la mer

## Conception de Voiliers

**6 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 60h

### Modalités de contrôle des connaissances

---

Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CT	Oral	60	100%	

# Méthodes Numériques

## Présentation

L'objectif de cette UE est de mettre en pratique sur des logiciels du commerce ou des codes de calcul maison, les notions fondamentales abordées en S9, dans le cadre de BEs.

5 crédits ECTS

## Objectifs

Utiliser et maîtriser les méthodes numériques de pointe dans le domaine de l'hydrodynamique

## Pré-requis nécessaires

UE de résistance à l'avancement et propulsion, UE de tenue à la mer.

## Compétences visées

- identifier les outils et ressources numériques pour le problem solving et savoir valider les résultats ; identifier les outils numériques dans l'obtention d'information et dans la diffusion de connaissances
- connaître et savoir utiliser les codes d'analyses de données et de simulation numérique et éventuellement des outils des sciences de la donnée pour aborder des problèmes complexes
- mettre en œuvre du calcul intensif
- maîtriser les limites et champs d'application des outils numériques

## Descriptif

L'UE est essentiellement composée de mini-sessions mêlant rappels de cours théoriques, et mise en pratique immédiate en salle informatique, afin de fixer les connaissances et compétences des étudiants.

Ces mini-sessions constituent naturellement une poursuite des UE de Résistance/propulsion et Manœuvrabilité/Tenue à la mer, via la découverte de méthodes numériques spécifiques.

Les thèmes balayés couvrent : estimation des performances de l'hélice marine, estimation de la résistance à l'avancement via différentes méthodes numériques (potentiel, Volumes Finis), caractérisation des capacités manoeuvrières, notions autour de l'impact numérique.

L'éventail des méthodes numériques classiquement utilisées en hydrodynamique navale est balayé : méthode potentielle, méthode Volumes Finis, méthodes particulières. Un accent est mis sur la prise en compte de la surface libre.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
UE	CC	Autre nature		100%	

# Méthodes expérimentales

## Présentation

L'objectif de l'UE d'approfondissement est de familiariser l'étudiant avec le monde de la recherche dans le domaine.

## Objectifs

L'étudiant est capable de mener une campagne d'essais et de rédiger un rapport décrivant le dispositif expérimental et les méthodes utilisées. Il décrit les résultats obtenus et les analyse en mobilisant ses connaissances théoriques. Enfin il porte un regard critique sur le travail effectué, en indiquent les limite de la méthode employé et en proposant des solutions alternatives pertinentes.

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 24h

Cours Magistral : 4h

## Pré-requis nécessaires

Stabilité du navire et architecture navale, Hydrodynamique navale, Résistance et propulsion, Tenue à la mer et manœuvrabilité

## Compétences visées

En se plaçant ainsi à la pointe des développements techniques, l'étudiant doit se trouver mieux préparé à une industrie en constante évolution.

## Descriptif

Tossage, essais en roulis au point fixe, essai d'hélice en eau libre, visite des moyens d'essais DGA/technique hydrodynamique.

TP sur moyen d'essais en centre de recherche (IRDL et DGA/TH)

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

## Analyse bibliographique

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 29h

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

## Scientific communication in English 2

### Présentation

Cette UE vise à améliorer l'anglais scientifique écrit en sciences biologiques de l'environnement marin. Plus spécifiquement, il s'agit ici de renforcer la capacité des étudiants à rédiger un rapport scientifique.

*English : This course is taught in English.*

**3 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 27h

### Objectifs

- > Comprendre la structuration d'un article scientifique et les règles d'écriture en langue anglaise
- > Comprendre la différence entre communication scientifique et vulgarisation scientifique en langue anglaise
- > Développer un esprit critique par rapport à la littérature scientifique

### Pré-requis nécessaires

Scientific communication in English 1 ou Niveau B1 en anglais

### Compétences visées

- > Identifier, sélectionner et analyser avec esprit critique diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet et synthétiser ces données en vue de leur exploitation
- > Communiquer à des fins de formation ou de transfert de connaissances, par oral et par écrit, en français et en langue étrangère et dans un temps et un format restreint, un travail scientifique abouti en le contextualisant
- > Gérer des contextes professionnels ou d'études complexes, imprévisibles et qui nécessitent des approches stratégiques nouvelles
- > Prendre des responsabilités au sein d'une équipe pour contribuer à la réalisation d'un objectif commun
- > Conduire un projet (conception, pilotage, coordination d'équipe, mise en œuvre et gestion, évaluation, diffusion) pouvant mobiliser des compétences pluridisciplinaires dans un cadre collaboratif
- > Analyser ses actions en situation professionnelle, s'autoévaluer pour améliorer sa pratique
- > Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention

### Descriptif

D'une part, cette UE évalue les compétences rédactionnelles en anglais scientifique des étudiants à travers une variété d'exercices qui testent leur capacité à rédiger une phrase scientifique, un paragraphe scientifique, ainsi que les sections d'introduction, discussion, méthodes et résultats d'un rapport scientifique. D'autre part, les étudiants sont accompagnés dans le développement d'un projet de vulgarisation scientifique sur un sujet d'actualité en sciences biologiques de l'environnement marin. Le produit final (e.g. blog d'un site web du Master, capsule vidéo) sera diffusé à destination du grand public. Cette UE se déroule entièrement en langue anglaise.

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Ecrit - devoir maison		100%	

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Ecrit - devoir surveillé	60	100%	

## Stage (de mars à septembre)

### Présentation

Le stage de recherches du M2 PM HN s'effectue dans un laboratoire ou un centre de recherche public ou privé, en France ou à l'étranger. Il consiste en l'étude analytique, expérimentale ou numérique d'une problématique originale, mais limitée en ampleur, de l'hydrodynamique Navale

20 crédits ECTS

### Objectifs

s'ouvrir à l'étude d'une problématique réelle et complexe en Hydrodynamique Navale, comparable à celles qui seront effectives dans la vie professionnelle

développer des compétences d'analyse et de synthèse et les appliquer en temps restreint

### Pré-requis nécessaires

semestre 9 Master mention Physique Marine parcours Hydrodynamique navale

### Modalités de contrôle des connaissances

#### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne

#### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			UE dispensée par l'ENSTA Bretagne