

MASTER SCIENCES DE LA MER

SEMESTRE 1 – TRONC COMMUN – 30 ECTS

OCE 101 - Océanographie générale – 6 ECTS

Ce cours a pour objectif d'enseigner aux étudiants les aspects les plus généraux de l'océanographie physique: Les principales propriétés physiques des eaux de mer ; le concept de masse d'eau et les outils d'analyse de leur mouvement ; la compréhension des mécanismes du fonctionnement de la machine thermodynamique couplée océan-atmosphère : forçage radiatif solaire et échanges de chaleur et de masse à l'échelle globale, forçage mécanique du vent et conséquences de la rotation planétaire ; les principaux types de circulation océanique de la grande échelle à l'échelle côtière qui en résultent ; le lien océan-climat et ses boucles de contre-réaction ; La description des caractéristiques des différents bassins à l'échelle mondiale, est ensuite analysée, à la fois du point de vue de leurs similitudes et de leurs particularités : océan Atlantique, Pacifique, Austral, Méditerranée, ...

OCE 102 - Océanographie biologique – 6 ECTS

Cette unité est une introduction à l'océanographie biologique. Elle se propose d'apporter les éléments détaillés permettant d'aborder l'étude de la structure des écosystèmes marins pélagiques et benthiques et des groupes fonctionnels caractérisant les flux de matières et d'énergie. Le cours aborde principalement l'étude des facteurs physiques/édaphiques contrôlant la variabilité spatio-temporelle de la structure et du fonctionnement des écosystèmes marins.

OCE 103 - Océanographie chimique – 6 ECTS

Introduction à l'océanographie chimique. Le but de cette formation (équilibrée entre cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques), est l'étude de la composition chimique en éléments majeurs des océans et des principaux processus expliquant leurs distributions.

OCE 104 - Modélisation : méthodes et applications – 6 ECTS

Cette unité est composée de trois parties: la première partie permet de montrer d'une part comment l'outil de modélisation numérique est adapté à représenter les écosystèmes marins et d'autre part comment cet outil permet une meilleure compréhension de leur fonctionnement. Dans la seconde partie, les étudiants seront initiés à la simulation numérique et complèteront leur formation en manipulation de logiciels de programmation scientifique ; dans la troisième partie, des rappels de techniques de calculs seront fournis et utilisés pour initier les étudiants à l'analyse de modèles simples issus des sciences de l'environnement. . Cette unité vise également à acquérir un regard objectif et critique sur les résultats des modèles.

OCE 105 – Statistiques et analyse de données – 3 ECTS

L'objectif de cette unité est d'approfondir les connaissances acquises en licence en statistique inférentielle. Nous introduisons les notations classiques utilisées en statistique mathématique permettant d'étudier la structure de distributions communément rencontrées en statistiques, d'aborder les notions d'estimations de paramètres, de construire des tests statistiques paramétriques. A la sortie de cet enseignement, un étudiant doit être capable de construire / proposer un test paramétrique permettant de valider une hypothèse sur certains paramètres populationnels ou de comparer deux échantillons entre eux. Cette unité est indispensable pour aborder les cours de statistiques proposés ensuite au M1 et au M2.

OCE 106 – Anglais – 3 ECTS

Compétence Anglais : S'exprimer à l'oral et à l'écrit sur une variété de sujets dans le domaine de Océanographie ; interagir en groupe en anglais à l'oral; méthodologie du poster scientifique; être capable de synthétiser des informations, d'émettre des hypothèses, de décrire procédures et graphiques, de défendre ses opinions, de questionner et débattre, d'argumenter et de réfuter des propos.

MASTER SCIENCES DE LA MER

SEMESTRE 2 – PARCOURS OPB – 30 ECTS

Sous – Parcours *Couplage Physique Biogéochimie*

UE OBLIGATOIRE

OCE 201 - Anglais – 3 ECTS

Compétence Anglais : S'exprimer à l'oral et à l'écrit sur une variété de sujets dans le domaine de l'Océanographie ; interagir en groupe en anglais à l'oral ; méthodologie d'un séminaire efficace ; conduire et participer aux débats sur sujet scientifiques ; être capable de synthétiser des informations, d'émettre des hypothèses, de décrire procédures et graphiques, de défendre ses opinions, de questionner et débattre, d'argumenter et de réfuter des propos.

UEs OPTIONNELLES

OPB 201 – Mesures en mer – 9 ECTS

Obtenir les connaissances indispensables en instrumentation (océanographique physique et biogéochimique) et effectuer une expérience sur le terrain sous la forme d'une formation embarquée pour la mise en œuvre d'instrumentation spécialisée. Apprentissage du travail en équipe et production d'un compte-rendu de travail de terrain.

OPB 202 – Cycles biogéochimiques globaux – 6 ECTS

Cette unité apporte les fondamentaux indispensables à la compréhension des processus physiques et biogéochimiques contrôlant les cycles des éléments biogènes (N, P, Si, S), leur quantification et l'établissement des bilans élémentaires de l'échelle régionale à l'échelle globale. Les cycles des éléments majeurs sont présentés ainsi que les couplages entre les éléments et entre les grands domaines (atmosphère, continent, océan) dans une approche comparative entre les évolutions passées (dernières transitions glaciaire/interglaciaire) et le changement climatique en cours.

OPB 203 – Résolution numérique des équations différentielles ordinaires – 3 ECTS

L'enseignement sera dispensé sous forme de cours magistraux, de Travaux Dirigés illustrant ce cours sous forme d'exercices, et de Travaux Pratiques sur ordinateur durant lesquels les étudiants programmeront (en Fortran 90) la résolution d'EDO à l'aide de méthodes présentées dans le cours.

OPB 204 – Résolution numérique des équations différentielles aux dérivées partielles – 3 ECTS

Cette unité a pour objectif d'enseigner aux étudiants les méthodes couramment utilisées pour la résolution des équations aux dérivées partielles, et notamment les équations mises en jeu en océanographie.

OPB 205 – Modélisation 3D océanique – 3 ECTS

Ce cours introduit les principaux concepts et techniques de modélisation numérique de la circulation océanique en 3D à l'échelle régionale dans l'océan global. L'ambition de cet enseignement est de mettre l'étudiant en condition d'utiliser en connaissance de cause la plate-forme communautaire CROCO (<http://www.croco-ocean.org/>) qui représente l'état de l'art en modélisation océanique.

OPB 206 – Océanographie physique – 6 ECTS

Ce cours a pour objectif d'enseigner aux étudiants les principaux fondements de l'océanographie physique: description des processus moteurs du mouvement horizontal et vertical, et des processus de dissipation (visqueuse et turbulente); manipulation des équations du mouvement; établissement et analyse de solutions analytiques classiques (moyennant les approximations classiques) en absence et en présence de frottement; équations de conservation (masse, chaleur, traceur). Analyse de tendances de vorticités; Etude de l'ajustement des fluides (convection; circulation thermohaline; géostrophie; ondes océaniques); rôle de la rotation et de la stratification; notions d'énergie potentielle utilisable; étude des ajustements liés à la gravité (ondes de gravité externes; cas particulier du fluide barotrope), à la stratification (modes baroclines, ondes internes, instabilités) et à la rotation (ondes de Rossby). Force de marée, analyse et prévision des marées.

OPB 207 – Eléments traces et traceurs des processus océaniques – 3 ECTS

Introduction à l'océanographie chimique. Le but de cette formation (équilibrée entre cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques), est l'étude de la composition chimique en éléments majeurs des océans et des principaux processus expliquant leur distribution. Les cours magistraux sont complétés par l'analyse et l'interprétation de données d'éléments traces obtenues au cours d'une opération océanographique dans le domaine côtier (UE Formation embarquée).

OPB 208 – Origine et devenir de la matière organique – 3 ECTS

La dynamique de la matière organique (MO) en mer est un phénomène complexe qui associe processus biotiques et abiotiques qui interviennent à différentes échelles de temps et d'espace. Comprendre l'origine, la nature et le devenir de la MO particulaire (MOP) et dissoute (MOD) constitue un enjeu majeur de l'océanologie notamment dans un contexte de changement global. Les principales caractéristiques de la MO (origine, nature) ainsi que les principaux processus responsables de la dynamique de la MO (distribution, transformation, (bio)dégradation, séquestration) seront présentées dans cette UE. L'utilisation de marqueurs

moléculaires permettant de caractériser l'origine ou la nature des processus impliqués sera également développée.

OPB 209 – Analyse de séries temporelles – 3 ECTS

Méthodes et techniques d'analyse des séries temporelles. Introduction, exemples de séries – préparation d'une série temporelle, données manquantes – décomposition de la série, tendance, saisonnalité et bruit, désaisonnalisation - identification de périodes caractéristiques – analyse de la périodicité – détection de discontinuités – corrélation de séries entre elles – prévision (modèle ARMA) – processus de Markov. Les TD sur machine, utilisant le logiciel R permettent de mettre en application les notions présentées sur des données réelles.

OPB 210 – Nutrition minérale des producteurs primaires – 6 ECTS

Cette unité aborde l'étude des facteurs chimiques contrôlant la variabilité spatio-temporelle de la structure et du fonctionnement des producteurs primaires marins. Il s'agit d'appréhender les relations liant la croissance des producteurs primaires (bactéries, phytoplancton, macrophytes benthiques) à la disponibilité en nutriments inorganiques (modèle de Monod, modèle à quota de Droop). Le cours développe les caractéristiques du domaine marin vis-à-vis de la nutrition minérale des macronutriments (C, N, P et Si) et des métaux-traces (principalement Fe) pour illustrer les concepts de facteur limitant (loi de von Liebig) et de co-limitation nutritionnelle. L'objectif est aussi de permettre la formulation des lois mathématiques à partir des différents modèles conceptuels en vue de leur application dans le traitement des données océanographiques et/ou en modélisation numérique.

OPB 211 – Paléocéanographie et paléoclimatologie – 3 ECTS

L'océan, et l'atmosphère participent activement à la régulation du climat, notamment par leurs rôles majeurs dans les échanges de chaleur et d'humidité entre basses et hautes latitudes. Ces mécanismes sont à l'origine d'importantes modifications des environnements continentaux (sols, végétation) et marins (propriétés physiques, chimiques et biologiques de la colonne d'eau) dont les résidus participent à la sédimentation océanique (distribution des composés biogènes et terrigènes, hiatus,..). La connaissance des variations du système intégré « Océan-Atmosphère-Climat » dans le passé enregistrées dans les dépôts de sédiments et les accumulations de glaces, est la clé de la compréhension de la dynamique et de l'évolution future du climat.

OPB 213 – Dynamique des communautés et des écosystèmes – 3 ECTS

Cette UE permet aux étudiants de maîtriser les clés de lecture des modèles en sciences de l'environnement afin d'acquérir un esprit critique éclairé vis-à-vis de cet outil moderne et de plus en plus utilisé. De nombreux exemples tirés de l'écologie des communautés et de l'écologie des écosystèmes faciliteront l'apprentissage de la relation entre les hypothèses émises sur les processus sous-jacents et la dynamique des communautés et des écosystèmes. Des outils mathématiques nouveaux seront présentés pour pouvoir analyser des comportements dynamiques plus ou moins complexes. Leurs applications faciliteront l'interprétation des comportements dynamiques en relation avec les hypothèses posées pour

la construction des modèles. Ces outils favoriseront la compréhension de quelques théories en écologie qui donnent un éclairage utile pour aborder la complexité des écosystèmes et disposer d'outils pour comprendre leur fonctionnement. Un effort particulier est porté sur les réseaux d'interactions et les flux trophiques.

MASTER SCIENCES DE LA MER

SEMESTRE 2 – *PARCOURS OPB* – 30 ECTS

Sous – Parcours Biodiversité et Biogéochimie

UE OBLIGATOIRE

OCE 201 - Anglais – 3 ECTS

Compétence Anglais : S'exprimer à l'oral et à l'écrit sur une variété de sujets dans le domaine de l'Océanographie ; interagir en groupe en anglais à l'oral ; méthodologie d'un séminaire efficace ; conduire et participer aux débats sur sujet scientifiques ; être capable de synthétiser des informations, d'émettre des hypothèses, de décrire procédures et graphiques, de défendre ses opinions, de questionner et débattre, d'argumenter et de réfuter des propos

UEs OPTIONNELLES

OPB 201 – Mesures en mer – 9 ECTS

Obtenir les connaissances indispensables en instrumentation (océanographique physique et biogéochimique) et effectuer une expérience sur le terrain sous la forme d'une formation embarquée pour la mise en œuvre d'instrumentation spécialisée. Apprentissage du travail en équipe et production d'un compte-rendu de travail de terrain.

OPB 202 – Cycles biogéochimiques globaux – 6 ECTS

Cette unité apporte les fondamentaux indispensables à la compréhension des processus physiques et biogéochimiques contrôlant les cycles des éléments biogènes (N, P, Si, S), leur quantification et l'établissement des bilans élémentaires de l'échelle régionale à l'échelle globale. Les cycles des éléments majeurs sont présentés ainsi que les couplages entre les éléments et entre les grands domaines (atmosphère, continent, océan) dans une approche comparative entre les évolutions passées (dernières transitions glaciaire/interglaciaire) et le changement climatique en cours.

OPB 207 – Eléments traces et traceurs des processus océaniques – 3 ECTS

Introduction à l'océanographie chimique. Le but de cette formation (équilibrée entre cours magistraux, travaux dirigés et travaux pratiques), est l'étude de la composition chimique en éléments majeurs des océans et des principaux processus expliquant leur distribution. Les cours magistraux sont complétés par l'analyse et l'interprétation de données d'éléments traces obtenues au cours d'une opération océanographique dans le domaine côtier (UE Formation embarquée).

OPB 208 – Origine et devenir de la matière organique – 3 ECTS

La dynamique de la matière organique (MO) en mer est un phénomène complexe qui associe processus biotiques et abiotiques qui interviennent à différentes échelles de temps et d'espace. Comprendre l'origine, la nature et le devenir de la MO particulaire (MOP) et dissoute (MOD) constitue un enjeu majeur de l'océanologie notamment dans un contexte de changement global. Les principales caractéristiques de la MO (origine, nature) ainsi que les principaux processus responsables de la dynamique de la MO (distribution, transformation, (bio)dégradation, séquestration) seront présentées dans cette UE. L'utilisation de marqueurs moléculaires permettant de caractériser l'origine ou la nature des processus impliqués sera également développée.

OPB 209 – Analyse de séries temporelles – 3 ECTS

Méthodes et techniques d'analyse des séries temporelles. Introduction, exemples de séries – préparation d'une série temporelle, données manquantes – décomposition de la série, tendance, saisonnalité et bruit, désaisonnalisation - identification de périodes caractéristiques – analyse de la périodicité – détection de discontinuités – corrélation de séries entre elles – prévision (modèle ARMA) – processus de Markov. Les TD sur machine, utilisant le logiciel R permettent de mettre en application les notions présentées sur des données réelles.

OPB 210 – Nutrition minérale des producteurs primaires – 6 ECTS

Cette unité aborde l'étude des facteurs chimiques contrôlant la variabilité spatio-temporelle de la structure et du fonctionnement des producteurs primaires marins. Il s'agit d'appréhender les relations liant la croissance des producteurs primaires (bactéries, phytoplancton, macrophytes benthiques) à la disponibilité en nutriments inorganiques (modèle de Monod, modèle à quota de Droop). Le cours développe les caractéristiques du domaine marin vis-à-vis de la nutrition minérale des macronutriments (C, N, P et Si) et des métaux-traces (principalement Fe) pour illustrer les concepts de facteur limitant (loi de von Liebig) et de co-limitation nutritionnelle. L'objectif est aussi de permettre la formulation des lois mathématiques à partir des différents modèles conceptuels en vue de leur application dans le traitement des données océanographiques et/ou en modélisation numérique.

OPB 211 – Paléocéanographie et paléoclimatologie – 3 ECTS

L'océan, et l'atmosphère participent activement à la régulation du climat, notamment par leurs rôles majeurs dans les échanges de chaleur et d'humidité entre basses et hautes latitudes. Ces mécanismes sont à l'origine d'importantes modifications des environnements continentaux (sols, végétation) et marins (propriétés physiques, chimiques et biologiques de la colonne d'eau) dont les résidus participent à la sédimentation océanique (distribution des composés biogènes et terrigènes, hiatus,...). La connaissance des variations du système intégré « Océan-Atmosphère-Climat » dans le passé enregistrées dans les dépôts de sédiments et les accumulations de glaces, est la clé de la compréhension de la dynamique et de l'évolution future du climat.

OPB 213 – Dynamique des communautés et des écosystèmes – 3 ECTS

Cette UE permet aux étudiants de maîtriser les clés de lecture des modèles en sciences de l'environnement afin d'acquérir un esprit critique éclairé vis-à-vis de cet outil moderne et de plus en plus utilisé. De nombreux exemples tirés de l'écologie des communautés et de l'écologie des écosystèmes faciliteront l'apprentissage de la relation entre les hypothèses émises sur les processus sous-jacents et la dynamique des communautés et des écosystèmes. Des outils mathématiques nouveaux seront présentés pour pouvoir analyser des comportements dynamiques plus ou moins complexes. Leurs applications faciliteront l'interprétation des comportements dynamiques en relation avec les hypothèses posées pour la construction des modèles. Ces outils favoriseront la compréhension de quelques théories en écologie qui donnent un éclairage utile pour aborder la complexité des écosystèmes et disposer d'outils pour comprendre leur fonctionnement. Un effort particulier est porté sur les réseaux d'interactions et les flux trophiques.

OBEM 205 – Bioinformatique – 3 ECTS

Avec l'essor des techniques de séquençage, la bioinformatique/bioanalyse devient une compétence nécessaire aux biologistes. En effet, interroger des bases de données, récupérer des informations et les analyser sont des tâches quotidiennes au sein des laboratoires qui s'intéressent à la biologie moléculaire, à la génétique ou à la génomique. C'est pourquoi nous souhaitons, à travers cette UE, doter les étudiants de connaissances de base sur les outils informatiques et leurs usages dans le domaine de la biologie moléculaire (principes, objectifs, potentiels et limites).

Pré-requis : co inscription à Techniques moléculaires et Diversité des microorganismes

OBEM 206 – Biodiversité des micro-organismes – 6 ECTS

Les microorganismes (virus, procaryotes, micro eucaryotes) marins jouent un rôle clef dans le fonctionnement des écosystèmes marins pélagiques et benthiques. Ils interviennent aussi bien dans les processus de production que de dégradation de la matière organique. Ils participent, d'une manière plus générale, aux cycles biogéochimiques de nombreux éléments. Les approches moléculaires ont récemment permis de mettre en évidence l'importante biodiversité des microorganismes marins dans les océans. Elles ont également mis en lumière une forte occurrence des symbioses dont la nature et l'importance demeurent souvent inconnues. Cette UE vise à présenter la diversité et l'écologie des principaux groupes de microorganismes marins. Elle a également pour objectif la compréhension de la complexité des systèmes microbiens et de leur rôle dans le fonctionnement des écosystèmes marins. OBEM 207 – Techniques moléculaires – 3 ECTS

L'analyse de la biodiversité, des associations entre les organismes, des processus évolutifs et adaptatifs peuvent se baser sur des données issues des molécules biologiques (ADN, ARN, protéines). Pour accéder à ces données, les techniques moléculaires sont indispensables. Celles-ci permettent d'isoler, de manipuler et de caractériser les molécules biologiques de

n'importe quel type d'organisme (procaryote ou eucaryote) et à différents niveaux d'intégration (de la cellule à la communauté). Après avoir suivi cette UE, les étudiants connaîtront les principales techniques moléculaires (principes, usages, potentiels et limites) et seront capables de choisir les outils les plus adaptés afin de répondre à une problématique donnée. Les étudiants seront aussi capables : (i) de détecter et d'identifier des micro-organismes par la technique FISH (Fluorescent In Situ Hybridization), (ii) d'étudier la biodiversité d'un échantillon par la technique DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis), (iii) de quantifier un gène ou une population par la méthode de PCR en temps réel (qPCR) et (iv) d'analyser à l'échelle individuelle des micro-organismes : dénombrements, physiologie, viabilité (cytométrie en flux).

OBEM 210 – Zooplancton et planctonophages – 6 ECTS

L'objectif de cette unité est la présentation des groupes d'organismes du zooplancton, des planctonophages ainsi que de leurs interactions. Ces organismes, au cœur des réseaux trophiques pélagiques transfèrent les flux de matière organique des producteurs pélagiques vers les prédateurs supérieurs. Les analyses de ces interactions permettront aux étudiants de les interpréter dans un contexte environnemental et de changement global.

MASTER SCIENCES DE LA MER

SEMESTRE 3 – PARCOURS OPB – 30 ECTS

Sous – Parcours *Couplage Physique Biogéochimie*

OPB 301 – Cycle du carbone et du climat – 6 ECTS

L'unité a pour but d'établir les bases du rôle du cycle marin du carbone dans le contrôle du climat à l'échelle globale via la régulation de la pression partielle de CO₂ atmosphérique. Les cours abordent le cycle du carbone dans l'océan de surface et dans la colonne d'eau, le cycle du carbonate de calcium, les fluctuations glaciaires et interglaciaires du CO₂ atmosphérique à l'holocène, la perturbation anthropique du CO₂ (méthodes de traçage du carbone anthropique dans l'océan).

OPB 303 – Traceurs géochimiques – 3 ECTS

Présentation des principes de mesure et d'utilisation de la palette des traceurs géochimiques en océanographie.

OPB 304 – Transferts continents - océans – atmosphère – 3 ECTS

Cette unité aborde l'étude des couplages entre les trois réservoirs biogéochimiques de l'enveloppe superficielle de la planète sous l'angle des flux de matières particulaires et dissoutes (particularités des échanges aux interfaces, rôle des transferts aux interfaces dans les cycles biogéochimiques globaux, aérosols atmosphériques, apports fluviaux, ...).

OPB 305 – Optique marine et biogéochimie – 6 ECTS

L'objectif de cet enseignement est de donner une formation de haut niveau en océanographie optique en fournissant aux étudiants les connaissances indispensables à une utilisation correcte des données collectées in situ par des instruments océanographiques optiques (PAR, radiomètre, flotteurs lagrangiens biogéochimiques etc.) ou fournies par des capteurs de télédétection ; en leur permettant de comprendre l'équation de transfert radiatif d'où découlent des lois plus simples de transmission de la lumière dans l'eau, de connaître les instruments optiques et leurs produits dérivés, dans l'eau et en télédétection satellitaire ; d'analyser des sets de données mesurées in situ pour mettre en pratique le cours théorique et d'effectuer des études de processus physiques et/ou biogéochimiques à partir d'images satellitaires mises à disposition, entre autres, par le CMEMS. Certaines données seront comparées avec des sorties numériques d'un modèle couplé physique/biogéochimie. Cet enseignement a vocation à s'inscrire dans la formation Copernicus Academy.

OPB 306 – Approche lagrangienne : fondements – 3 ECTS

Formation de haut niveau en océanographie physique sur l'approche Lagrangienne à l'étude de la circulation à méso- et sous méso-échelle, de son rôle dans la distribution des grandeurs biogéochimiques, des polluants et des organismes. L'ambition de cet enseignement est de

fournir une solide base de connaissances sur les récentes avancées et découvertes multidisciplinaires par observations in situ, satellite ou modélisation numérique.

OPB 307 – Flux, interface air-mer et modélisation 3D intégrée – 6 ECTS

Dans la première partie de cette unité d'enseignement, on étudiera les échanges de quantité de mouvement et de chaleur qui se produisent à l'interface entre océan et atmosphère. La représentation correcte de ces échanges -ou flux- conditionne grandement la précision des champs de sortie des modèles d'atmosphère et d'océan ainsi que leur interface commune: les vagues. On décrira en particulier les caractéristiques des profils verticaux de température, de vent et de courant que l'on peut trouver de part et d'autre de l'interface air-mer, ainsi que les théories de la turbulence (Monin-Obukhov et Kolmogorov) dont découlent les paramétrisations des flux utilisés dans les modèles. La seconde partie de cette unité est consacrée à la présentation des principaux processus présents dans les modèles biogéochimiques de bas niveaux trophiques (formulation, paramétrisation), des différents principes de couplage entre modèles biogéochimiques et hydrodynamiques. Enfin, la prise en main et la maîtrise d'un modèle intégré (atmosphère-hydrodynamique-biogéochimie marine) réaliste appliqué à la baie de Marseille permettra aux étudiants de préparer un mini-projet personnel d'étude sur une grande variété de thématiques convenant aux étudiants modélisateurs qu'ils soient « physiciens » ou « biogéochimistes ». Les thèmes d'étude pourront, par exemple, porter sur l'impact des forçages atmosphériques sur l'hydrodynamique côtière, les interactions côte-large de la circulation générale ou encore les impacts des processus d'upwelling/downwelling, des apports nutritifs provenant de l'atmosphère ou des panaches fluviales sur l'écosystème planctonique (diversité fonctionnelle) et la productivité de la zone, etc. Le module biogéochimique marin intégrera une représentation de la chimie des carbonates ce qui permettra également de faire des études sur la problématique de l'acidification en zone côtière en lien avec une zone fortement anthropisée comme l'est la métropole de Marseille.

OPB 308 – Structure et dynamique verticale de la colonne d'eau – 3 ECTS

Les objectifs de ce cours sont principalement de faire comprendre aux étudiants, en combinant un cours théorique et un modèle couplé physique-biogéochimique dans une configuration 1D verticale, les processus par lesquels les forçages atmosphériques (irradiance, vent, température de l'air), l'intensité de la turbulence au sein de la colonne d'eau, la convection verticale, et la biologie (variabilité du rapport Chl:C au sein des organismes, chute du compartiment particulaire détritique,...) vont contraindre les profils verticaux de température et de densité, la profondeur de la couche mélangée, ainsi que les distributions verticales de nutriments et de biomasse planctonique. Différents types de régions seront étudiés (régions tempérées, tropicales, eutrophes ou oligotrophes...) afin d'analyser les différences induites par la disponibilité des nutriments en surface en lien avec les forçages physiques, et en particuliers le mélange vertical, sur la structure verticale de la colonne d'eau. La saisonnalité de la structure verticale de la colonne d'eau dans ces régions type sera aussi explorée. Par exemple, les conditions de mise en place du bloom printanier en région tempérée fournies par le modèle seront confrontées aux théories existantes (e.g. théorie de la profondeur critique de Sverdrup). Ce cours a également vocation à présenter succinctement

aux étudiants les hypothèses et les équations mises en jeu dans le modèle couplé, ainsi que les méthodes mises en œuvre pour les résoudre.

OPB 309 – Approche lagrangienne : stratégies d'échantillonnages – 3 ECTS

L'ambition de cet enseignement est de donner une formation de haut niveau en océanographie physique sur les techniques d'analyse Lagrangienne de la circulation océanique et leur application pour les stratégies d'échantillonnage adaptatives et Lagrangiennes pour les campagnes océanographiques multidisciplinaires. Une fois posé la problématique de l'échantillonnage in situ en milieu turbulent et les bases des principes de l'approche Lagrangienne, ils seront étudiés plusieurs exemples de campagnes précédentes et le code numérique à particules Lagrangiennes pour le calcul des FSLE basé sur les données satellites CMEMS faisant partie du paquet SPASSO développé au MIO. Cet enseignement a vocation à s'inscrire dans la formation Copernicus Academy.

OPB 310 – Analyse des signaux en océanographie – 3 ECTS

Ce cours a pour objectif d'enseigner aux étudiants les rudiments d'analyse des signaux temporels ou spatiaux pour identifier les périodicités présentes dans des résultats expérimentaux bruités. Les techniques maîtrisées à l'issue de l'enseignement doivent permettre d'aborder également la préparation de stratégies cohérentes d'échantillonnage préalablement à la réalisation d'une campagne océanographique ou l'analyse de signaux sous forme d'image bidimensionnelle. Le contenu du cours couvre les notions suivantes : signaux déterministes ; signaux aléatoires ; analyse par corrélation ; série de Fourier d'une fonction périodique ; transformée de Fourier ; lien largeur de spectre-durée du signal ; représentation de l'opération d'échantillonnage ; la convolution des signaux ; le théorème d'échantillonnage ; conséquences pratiques pour la programmation des instruments de mesure et la stratégie de déploiement de capteurs.

MASTER SCIENCES DE LA MER

SEMESTRE 3 – PARCOURS OPB – 30 ECTS

Sous – Parcours *Biodiversité et Biogéochimie*

OPB 301 – Cycle du carbone et climat – 6 ECTS

L'unité a pour but d'établir les bases du rôle du cycle marin du carbone dans le contrôle du climat à l'échelle globale via la régulation de la pression partielle de CO₂ atmosphérique. Les cours abordent le cycle du carbone dans l'océan de surface et dans la colonne d'eau, le cycle du carbonate de calcium, les fluctuations glaciaires et interglaciaires du CO₂ atmosphérique à l'holocène, la perturbation anthropique du CO₂ (méthodes de traçage du carbone anthropique dans l'océan).

OPB 302 – Dynamique et impact des contaminants organiques – 6 ECTS

Les écosystèmes marins sont soumis et impactés par des apports multiples de contaminants. C'est particulièrement le cas dans les zones côtières du fait du développement croissant des populations humaines et du développement des activités anthropiques (e.g., industries, transports, urbanisation)... Une grande diversité et quantité de composés vont intégrer chroniquement ou accidentellement le milieu marin, tels que les polluants organiques persistants (hydrocarbures aromatiques polycycliques, pesticides organochlorés, polychlorobiphényles, ...). C'est aussi le cas de nombreux autres contaminants chimiques, dits émergents, dont les voies d'exposition potentielles et les effets toxiques sont peu ou pas connus (phtalates, filtres solaires, produits pharmaceutiques, retardateurs de flamme, ...). La thématique des contaminants en mer est d'intérêt majeur, tant au niveau scientifique que sociétal (e.g., impacts des polluants sur les organismes marins et sur le fonctionnement des écosystèmes, transfert de polluants entre compartiments abiotiques ou vers/dans les réseaux trophiques, de la bioaccumulation de certains contaminants dans les espèces exploitées). Cette UE a pour objectif la connaissance et la compréhension des processus biotiques et abiotiques qui régissent la dynamique des contaminants. Elle aborde également les conséquences de leur présence dans les environnements marins et les approches qui peuvent être mis en place pour restaurer les écosystèmes impactés (bioremédiation).

OPB 303 – Traceurs géochimiques – 3 ECTS

Présentation des principes de mesure et d'utilisation de la palette des traceurs géochimiques en océanographie.

OPB 304 – Transferts continents - océans – atmosphère – 3 ECTS

Cette unité aborde l'étude des couplages entre les trois réservoirs biogéochimiques de l'enveloppe superficielle de la planète sous l'angle des flux de matières particulaires et dissoutes (particularités des échanges aux interfaces, rôle des transferts aux interfaces dans les cycles biogéochimiques globaux, aérosols atmosphériques, apports fluviaux, ...).

OPB 305 – Optique marine et biogéochimie – 6 ECTS

L'objectif de cet enseignement est de donner une formation de haut niveau en océanographie optique en fournissant aux étudiants les connaissances indispensables à une utilisation correcte des données collectées in situ par des instruments océanographiques optiques (PAR, radiomètre, flotteurs lagrangiens biogéochimiques etc.) ou fournies par des capteurs de télédétection ; en leur permettant de comprendre l'équation de transfert radiatif d'où découlent des lois plus simples de transmission de la lumière dans l'eau, de connaître les instruments optiques et leurs produits dérivés, dans l'eau et en télédétection satellitaire ; d'analyser des sets de données mesurées in situ pour mettre en pratique le cours théorique et d'effectuer des études de processus physiques et/ou biogéochimiques à partir d'images satellitaires mises à disposition, entre autres, par le CMEMS. Certaines données seront comparées avec des sorties numériques d'un modèle couplé physique/biogéochimie. Cet enseignement a vocation à s'inscrire dans la formation Copernicus Academy.

OPB 310 – Analyse des signaux en océanographie – 3 ECTS

Ce cours a pour objectif d'enseigner aux étudiants les rudiments d'analyse des signaux temporels ou spatiaux pour identifier les périodicités présentes dans des résultats expérimentaux bruités. Les techniques maîtrisées à l'issue de l'enseignement doivent permettre d'aborder également la préparation de stratégies cohérentes d'échantillonnage préalablement à la réalisation d'une campagne océanographique ou l'analyse de signaux sous forme d'image bidimensionnelle. Le contenu du cours couvre les notions suivantes : signaux déterministes; signaux aléatoires ; analyse par corrélation ; série de Fourier d'une fonction périodique ; transformée de Fourier ; lien largeur de spectre-durée du signal ; représentation de l'opération d'échantillonnage ; la convolution des signaux ; le théorème d'échantillonnage ; conséquences pratiques pour la programmation des instruments de mesure et la stratégie de déploiement de capteurs.

OBEM 301 – Ecologie Microbienne et fonctionnement des écosystèmes – 6 ECTS

Relation entre procaryotes (synergie, compétition) ou avec des organismes eucaryotes. Impact des communautés microbiennes sur le fonctionnement des écosystèmes et rétroactions. Application dans la gestion des pollutions (eutrophisation, bio-remédiation) ou dans l'émission des gaz à effet de serre (pré-requis, UE Biodiversité des micro-organismes ou nutrition minérale des producteurs primaires)

OBEM 312 – Génomique environnementale – 6 ECTS

La génomique environnementale est une discipline émergente qui a vu le jour grâce aux différents bouleversements méthodologiques (ex. séquençage à haut-débit). En permettant l'acquisition massive de données biologiques, ces nouvelles technologies modifient profondément la façon d'envisager les études en évolution, biodiversité et écologie des organismes présents et passés. Dans le cadre de cette UE, nous ferons découvrir aux étudiants les bases méthodologiques de cette discipline (analyse des métagénomés), les informations

que cette discipline apporte sur les organismes (diversité, taxonomie, phylogénie et évolution) et leurs interactions avec leur environnement biotique et abiotique (biologie, traits fonctionnels, symbioses). (Prérequis UE bio-informatique. Techniques moléculaires conseillés)