

Le manuel “Former les Formateurs” en 6 langues différentes



TECONAUT

USING DEEP TECH TO FACILITATE THE ECO
TRANSITION IN THE NAUTICAL SECTOR



Co-funded by
the European Union

Un manuel numérique en Anglais, Espagnol, Français, Grec, Polonais, Allemand et Turquie.

Identifiant du projet	101139940
Titre du document	Le manuel "Former les Formateurs" en 6 langues différentes
Date	12 Janvier 2026
Type de document	Recommandations
Gestion	NTUA
Niveau de diffusion	Public
Version	1

Avertissement

Financé par l'Union européenne. Les points de vue et opinions exprimés sont toutefois ceux des auteurs uniquement et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'Union européenne ou de l'EACEA. Ni l'Union européenne ni l'autorité octroyant la subvention ne peuvent en être tenus responsables.



Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Le rôle de ce manuel
 - 2.1 Objectif
 - 2.2 Utilisateurs et public concerné
 - 2.3 Contexte
- 3 Plan du cours et supports utiles
- 4 Orientation de la formation
 - 4.1 Approche et orientation de la formation
 - 4.2 Conseils pratiques pour les formateurs
- 5 Liste du matériel et des équipements

Annexes : Supports de présentations et Vidéos



1

Introduction



1. Introduction

Ce manuel a été conçu comme un outil de référence pratique pour les formateurs participant au projet **TEcoNaut** financé par l'UE, une initiative européenne visant à renforcer la collaboration entre les établissements d'enseignement supérieur, les institutions d'EFP et l'industrie navale. Le projet a pour objectif d'identifier les nouveaux besoins en compétences, de combler les lacunes existantes et de soutenir la coopération à long terme dans l'ensemble du secteur.

En mettant l'accent sur l'enseignement et la formation professionnels dans le domaine des matériaux durables pour la construction navale, TEcoNaut soutient la transition de l'industrie vers des technologies innovantes et respectueuses de l'environnement.

Plus précisément, le projet TEcoNaut vise à atteindre son objectif principal à travers :

- le développement d'un cours sur les matériaux Deep Tech pour l'EFP, axé sur l'utilisation et l'application des matériaux Deep Tech, ainsi qu'un programme de formation des formateurs.
- mener une phase approfondie d'identification des « lacunes en matière de compétences », dont les résultats seront reliés à l'ESCO et s'appuieront sur la nouvelle taxonomie verte de l'UE.
- éveiller l'esprit d'entreprise chez les étudiants et les futurs travailleurs du secteur nautique « éco », leur permettre d'envisager les opportunités commerciales futures liées à l'utilisation de matériaux durables et à la circularité des matériaux de construction navale, tout en renforçant leurs capacités de résilience.
- concevoir un programme de stages pour les étudiants de l'enseignement supérieur avec des approches pratiques, leur permettant de travailler sur l'application des compétences Deep Tech au sein des entreprises. La vague verte Deep Tech, indispensable dans la construction navale, ne peut être développée avec succès que grâce à la collaboration entre les établissements d'enseignement supérieur qui mènent des recherches sur les matériaux Deep Tech, les entreprises qui construisent des bateaux de manière durable et respectueuse de l'environnement en utilisant ces matériaux, et les centres de formation professionnelle qui fournissent du personnel qualifié.

Ce manuel est destiné à compléter **le cours TEcoNaut : Matériaux durables dans le secteur de la construction navale**. Il fournit des conseils, des pratiques recommandées et des ressources structurées pour soutenir la mise en œuvre efficace des modules d'apprentissage et aider les formateurs à atteindre les objectifs d'apprentissage définis.



2

Le Rôle de ce Manuel



Co-funded by
the European Union

ERASMUS-EDU-2023-PI-ALL-INNO

2. Le rôle de ce manuel

2.1 Objectif

Ce manuel a pour objectif de servir de guide de référence principal aux formateurs qui dispensent **le cours TEcoNaut**. Il fournit des conseils pratiques sur les méthodes d'enseignement, les ressources et les supports complémentaires afin de favoriser un apprentissage efficace et d'assurer une prestation cohérente des modules du cours.

De plus, le manuel propose des informations complémentaires sur plusieurs thèmes abordés dans le cours afin de fournir aux formateurs un contexte supplémentaire leur permettant de répondre aux questions plus avancées des apprenants. En intégrant des outils pédagogiques, des documents de référence et des conseils pratiques, le manuel de l'enseignant vise à aider les enseignants à offrir une expérience d'apprentissage de haute qualité dans un environnement attrayant et interactif.

Plus précisément, le manuel aide les formateurs à :

- Appliquer des approches de formation efficaces et centrées sur l'apprenant
- Gérer les activités en classe et la dynamique du groupe
- Suivre les progrès par rapport aux objectifs d'apprentissage définis
- Répondre aux questions des étudiants qui vont au-delà du contenu du cours principal

Ce manuel n'a pas vocation à être restrictif. Les formateurs sont encouragés à adapter et à compléter le contenu en fonction de leur jugement professionnel et des besoins de leurs apprenants.

2.2 Utilisateurs et public cible

Ce manuel est principalement destiné aux formateurs impliqués dans **l'Enseignement et la Formation Professionnels (EFP)** et se concentre sur la construction durable de bateaux. Il peut également être utilisé comme référence par :

- Enseignants dans les établissements d'enseignement supérieur
- Formation de spécialistes dans les secteurs maritime et de la construction navale
- Professionnels impliqués dans le soutien ou la mise en œuvre d'activités d'EFP dans le cadre du cours TEcoNaut

2.3 Contexte

Ce manuel fournit un cadre complet destiné à aider les formateurs à dispenser le cours TEcoNaut. Ce cadre correspond aux exigences de qualification du **niveau 4 du CEC**, garantissant ainsi la cohérence avec les normes européennes reconnues en matière de formation professionnelle (See <https://europass.europa.eu/fr/description-eight-efq-levels>).

Le contenu principal du manuel de l'enseignant est présenté ci-dessous. Il est organisé de manière à offrir aux enseignants/formateurs des conseils clairs, des outils pratiques et un soutien structuré tout au long des différentes phases du processus de formation.

3

Plan du cours et support d'information
pour les séances d'enseignement

4

Guide de formation

5

Liste du matériel et des équipements

Annexes

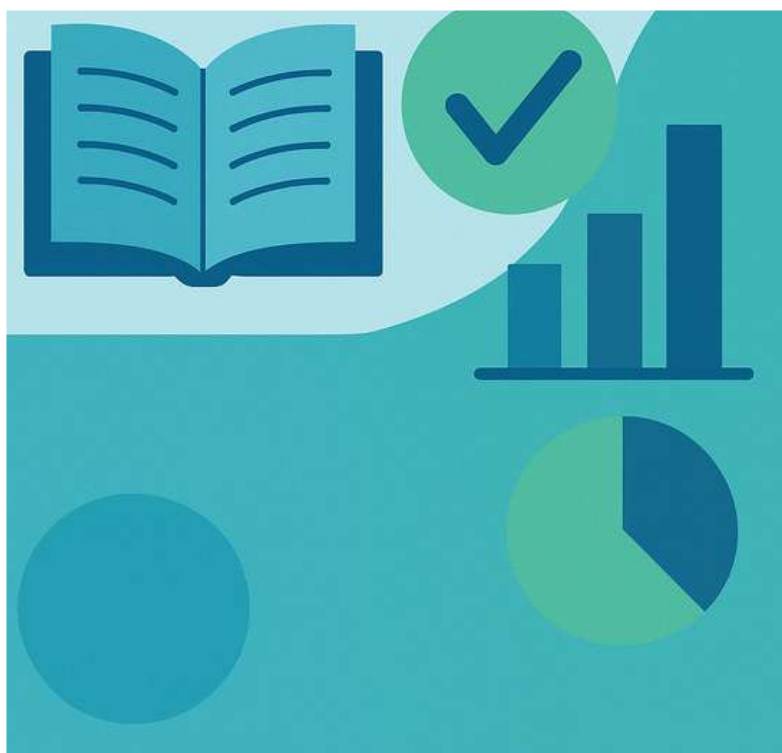
Supports de présentations
et Vidéos

En bref, la section 3 présente le plan du cours pour chaque unité, complété par des informations complémentaires sur plusieurs thèmes abordés dans le contenu de chaque unité et des conseils pour mener à bien les activités décrites dans le plan du cours. La section 4 sert de guide pour les méthodes d'enseignement et la conduite d'un cours captivant. La section 5 présente la liste des équipements et du matériel nécessaires pour les activités pratiques et pour une meilleure compréhension de la terminologie liée à la construction navale. Enfin, l'annexe comprend les présentations faites lors d'un atelier organisé en France dans le cadre du projet TEcoNaut, qui fournissent des informations sur les matériaux de haute technologie et les propriétés mécaniques.



3

Plan du cours et support d'information pour les séances d'enseignement



3. Plan du cours et support d'information pour les séances d'enseignement

Cette section présente le cadre général du cours, décrivant comment le contenu pédagogique est organisé en unités, modules, sous-thèmes, activités correspondantes et informations complémentaires sur le cours. Chaque unité aborde un domaine thématique clé, garantissant un équilibre approprié entre les connaissances théoriques et les applications pratiques. Les tableaux joints (voir les tableaux pertinents du **Plan du Cours**) fournissent des informations essentielles pour l'élaboration du matériel pédagogique, notamment les thèmes, les résultats d'apprentissage escomptés, la durée estimée et les méthodes d'enseignement et de formation proposées, afin d'aider les formateurs à planifier et à dispenser le cours de manière efficace. Ces tableaux offrent également aux apprenants un aperçu transparent du contenu du cours et des attentes. Des instructions pour les activités (voir les tableaux correspondants : **Instructions pour les activités**) et des informations pour aller plus loin (voir les tableaux correspondants : **Informations pour progresser**) sont fournies pour chaque unité, organisées sous forme de tableaux afin de faciliter la tâche du formateur.

La structure du cours comprend **cinq (5) unités**. Les apprenants seront formés dans les domaines suivants :

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation

Unité 4 : Analyse du cycle de vie et cas concret

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis

Ces thèmes contribuent collectivement au développement des compétences techniques et à une prise de conscience plus large en matière de durabilité dans le secteur de la construction navale.

Les descriptions ci-dessous expliquent l'objectif et la portée de chaque colonne incluse dans les tableaux du **Plan du Cours**, garantissant ainsi une interprétation et une utilisation cohérentes dans tous les contextes de formation.

Module

La colonne présente chaque module de l'unité correspondante.

Sous-thème

Cette colonne fait référence à chaque sous-thème du module.

Remarque : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités associées pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau **Instructions pour les activités** correspondant.

Répartition par sous-thème

Cette colonne fournit des informations détaillées sur les sujets et sous-thèmes présentés dans chaque unité, reflétant le contenu défini dans le programme du cours. Elle offre un aperçu structuré de ce qui sera enseigné dans chaque thème, favorisant ainsi un enchaînement logique et une couverture complète du contenu.

La répartition par thème aide les formateurs à planifier et à organiser efficacement leurs cours, tout en guidant les apprenants à travers une exploration claire et progressive du sujet.

Remarque : le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau d'**Informations pour progresser** correspondant.

Résultats d'apprentissage

La colonne « Résultats d'apprentissage » précise les connaissances, les compétences et les attitudes que les apprenants doivent acquérir ou développer à travers chaque activité. Ces résultats ont été définis afin de correspondre aux objectifs généraux du programme pour chaque unité du cours.

Les acquis d'apprentissage constituent des indicateurs clés tant pour les formateurs que pour les apprenants, garantissant que chaque activité contribue de manière significative au développement des compétences visées.

Durée

Cette colonne indique le temps prévu pour chaque leçon ou activité. La durée indiquée doit correspondre aux horaires spécifiés dans le programme, ce qui aide les formateurs à gérer la planification des sessions et à garantir la cohérence dans tous les environnements de formation.

Méthode(s) d'enseignement et de formation

Cette rubrique propose des méthodes d'enseignement et de formation adaptées à chaque sous-thème.

Les tableaux « **Instructions pour les activités** » présentent toutes les activités pouvant être réalisées en classe afin d'aider les élèves à acquérir une compréhension approfondie des concepts et connaissances fondamentaux enseignés dans le programme. Les activités sont présentées sous forme de tableau, offrant ainsi un aperçu structuré de chaque unité, avec des instructions et des conseils clairs destinés aux enseignants afin qu'ils puissent organiser les tâches et guider efficacement les élèves.

Le tableau « **Informations pour progresser** » fournit aux formateurs un aperçu détaillé des concepts avancés, des documents de référence et des ressources supplémentaires qui complètent le programme principal. Son objectif est d'aider les enseignants à approfondir les connaissances des apprenants sur les matériaux durables, les méthodes de fabrication, les cadres réglementaires et les développements industriels liés à la construction navale moderne. En offrant un accès structuré à des publications scientifiques, des normes techniques, des outils professionnels et des études de cas concrets, cette section fournit aux enseignants les connaissances contextuelles nécessaires pour guider en toute confiance les apprenants au-delà des notions essentielles et leur faire découvrir un panorama professionnel et environnemental plus large.

Unité 1 rassemble des ressources complètes qui présentent aux étudiants les cadres de durabilité, les innovations en matière de matériaux naturels et les méthodes d'évaluation environnementale pertinentes pour les industries maritimes et côtières. Il comprend des documents de référence sur la gestion durable des marinas, la stratégie climatique à long terme du Pacte vert pour l'Europe, la recherche avancée sur les matériaux intelligents à base de bois et de polymères, et des normes telles que l'ISO 12215 qui définissent les propriétés des matériaux utilisés dans les structures des bateaux. D'autres contenus soulignent l'importance de l'analyse du cycle de vie (ACV) dans la réduction de l'impact environnemental tout au long de la durée de vie d'un navire, ainsi que les perspectives de l'économie circulaire en matière de gestion des déchets et d'efficacité des ressources.

Unité 2 se concentre sur les fibres, les résines, les structures composites, les technologies de recyclage et le comportement mécanique dans la construction navale moderne. Les références comprennent des publications scientifiques comparant les propriétés des fibres, les résultats des essais et l'influence de la chimie des résines sur les performances et la durabilité. Le module couvre également les normes ISO essentielles, les ressources pratiques sur la mécanique des composites et des études de cas détaillées sur les défauts des matériaux, l'utilisation d'additifs, les compatibilisants et les structures sandwich. L'accent est mis sur la circularité, avec de nombreuses sources explorant les méthodes de recyclage thermique, mécanique et chimique, les besoins énergétiques des différents processus et les initiatives actuelles de l'industrie axées sur les alternatives biosourcées, les fibres naturelles et les matériaux composites durables.

Unité 3 fournit aux enseignants du matériel pratique sur les processus de fabrication des composites, l'architecture des fibres et l'assurance qualité dans la production. À l'aide de guides techniques, de sites web de fournisseurs, d'articles scientifiques et de vidéos de démonstration, cette unité explique les méthodes de stratification, l'infusion de résine, la prévention des défauts et les étapes de la construction de composants en fibres naturelles ou en composites hybrides. Elle présente également aux apprenants de nouvelles approches de fabrication durable, des exemples de modernisation et de réutilisation, des méthodes de réparation et les perspectives de l'industrie sur les impacts environnementaux de la construction navale.

Le contrôle qualité, les solutions de gestion des déchets et les possibilités de recyclage des chutes de production sont également abordés.

Unité 4 compile les cadres réglementaires les plus pertinents, les méthodologies d'empreinte environnementale et les initiatives européennes en cours visant à décarboner le secteur nautique. Les références comprennent des normes ISO officielles, de la documentation sur l'empreinte environnementale des produits (PEF), des lignes directrices en matière d'ACV, des études sectorielles et des rapports politiques. Ensemble, ces ressources aident les enseignants à contextualiser la durabilité dans le paysage juridique et industriel plus large, en présentant la manière dont les réglementations influencent les choix de matériaux, les processus de fabrication, les responsabilités en fin de vie et la transition vers une conception de bateaux à faible impact.

Unité 5 met en évidence le contexte politique, les possibilités de financement, les perspectives du marché du travail et l'évolution des compétences requises qui façonnent l'avenir de la construction navale. Il intègre des informations sur le Pacte vert pour l'Europe, l'initiative « Fit for 55 », la réglementation sur les transferts de déchets et les mécanismes financiers tels que NextGenEU. L'unité présente également des études de cas de chantiers navals adoptant des pratiques durables innovantes, des vidéos et des guides sur l'artisanat traditionnel et les techniques modernes, ainsi qu'une série de ressources qui présentent les professions pertinentes, les stratégies de mise en réseau, les événements professionnels et les nouvelles compétences technologiques émergentes dans le secteur.

Dans les tableaux suivants, toutes les informations susmentionnées sont présentées en détail pour chaque unité du matériel pédagogique TEcoNaut.



Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
1.1 Principes fondamentaux de la durabilité dans l'industrie maritime	1.1.1 Principes de durabilité dans l'industrie maritime	1. Introduction aux trois piliers de la durabilité 2. Défis spécifiques dans le contexte maritime : émissions, utilisation des ressources, déchets matériels 3. Application des principes de durabilité dans la conception, la construction et l'entretien des navires	RA 1 : Comprendre le concept fondamental de durabilité. RA 2 : Identifier les principaux défis environnementaux, sociaux et économiques dans le secteur maritime. RA 3 : Capacité à classer les actions et les décisions en fonction des trois piliers du développement durable. RA 4 : La prise de conscience des effets à long terme des décisions techniques sur les personnes et	2 ½	Apprentissage par problèmes posés
	1.1.2 Évolution historique : matériaux biosourcés vs fibre de verre	1. Introduction au développement des matériaux dans la construction navale : a) Aperçu des matériaux traditionnels utilisés dans la construction navale b) Apparition des premiers composites 2. Evolution historique des matériaux : a) Etapes historiques importantes dans l'évolution des matériaux pour la construction navale	RA 1 : Connaissance de l'évolution historique des matériaux de construction navale RA 2 : Capacité à comparer des matériaux traditionnels à des matériaux synthétiques et aux alternatives bio-sourcées	2 ½	Apprentissage en classe (cours magistral interactif avec des échantillons de matériaux)

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
1.1 Principes fondamentaux de la durabilité dans l'industrie maritime	1.1.2 Évolution historique : matériaux biosourcés vs fibre de verre	b) Transition des matériaux traditionnels vers les matériaux du futur (synthétiques) c) Alternatives bio-sourcées 3. Comparaisons entre matériaux avec des exemples a) Impact environnemental b) Propriétés mécaniques c) Coûts et disponibilité sur le marché et dans l'industrie	RA 3 : Evaluer les choix de matériaux en se basant sur le contexte historique, les contraintes techniques et les critères de durabilité.		Apprentissage en classe (cours magistral interactif avec des échantillons de matériaux)
	1.1.3 Cadre réglementaire : certifications et réglementations	1. Vue d'ensemble des réglementations maritimes internationales et régionales (ex. IMO, ISO 14001, directives UE) 2. Introduction à la certification des matériaux et des bateaux durables 3. Le rôle des tendances réglementaires en faveur du changement et de la promotion de la durabilité	RA 1 : Introduction aux réglementations maritimes RA 2 : Vue d'ensemble des principales réglementations et directives RA 3 : Rôle de la réglementation dans les pratiques durables	1	Apprentissage en classe (cours magistral basé sur des études de cas)

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
1.2 Impact environnemental et gestion des déchets	1.2.1. Analyse du cycle de vie (ACV) dans l'industrie nautique	1. Introduction à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) - définition et objectif 2. Etapes de la vie d'un bateau : a) Conception et construction b) Transport et distribution c) Phase d'utilistation d) Fin de vie : mise au rebut, recyclage ou réutilisation 3. Identification des émissions, des déchets et de la consommation en ressources à chaque étape 4. L'empreinte carbone et ce qui la compose au cours de la production et de l'utilisation d'un bateau 5. Comparaison de l'impact environnemental entre différents matériaux	RA 1 : Le concept de l'ACV RA 2 : Identifier et décrire les principales étapes de la vie d'un bateau RA 3 : Reconnaître les impacts environnementaux spécifiques de chaque étape du cycle	2	Apprentissage en classe
	1.2.2 Stratégies de gestion des déchets : principes de l'économie circulaire et cadre des 3R	1. Familiarisation avec les déchets de l'industrie nautique a) Types et sources de déchets pendant les étapes de production, d'entretien et de fin de vie b) Risques environnementaux et conséquences d'une mauvaise gestion des déchets 2. Comprendre le cadre des 3R : a) Réduire - minimiser la production de déchets grâce à une conception intelligente et à l'efficacité des ressources b) Réutiliser - allonger la durée de vie des produits ou de leurs composants grâce à la réparation ou à la réutilisation c) Recycler – récupérer les matériaux et les transformer en de nouveaux produits	RA 1 : Comprendre les principes de la hiérarchisation des déchets selon le concept des 3R RA 2 : Comprendre ce qu'est l'Economie Circulaire RA 3 : Identification des types de déchets communs dans les procédés de l'industrie nautique	2	Apprentissage en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
1.2 Impact environnemental et gestion des déchets	1.2.2 Stratégies de gestion des déchets : principes de l'économie circulaire et cadre des 3R	3. Introduction à l'Economie Circulaire a) Définition et différences avec le modèle linéaire traditionnel "extraire-fabriquer-jeter" b) Principes de base : conception facilitant le démontage, allonger la durée d'utilisation des matériaux, régénérer des systèmes naturels	RA 4 : Comprendre les principes des 3R et de l'économie circulaire		Apprentissage en classe
	1.2.3. Limites de la durabilité : Défis liés au recyclage vs les matières premières renouvelables	1. Introduction au développement durable 2. Défis liés au recyclage : a) Difficultés techniques du recyclage des matériaux composites (ex. fibre de verre, fibre de carbone) b) Freins financiers : coût du recyclage vs coût des matériaux neufs c) Technologie et infrastructure encore limitées pour le recyclage des déchets issus de l'industrie maritime 3. Ressources renouvelables : Avantages et inconvénients 4. Recyclage vs ressources renouvelables	RA 1 : Comprendre les limites environnementales et techniques du recyclage, d'une part, et des ressources renouvelables, d'autre part RA 2 : Faire la distinction entre les matériaux recyclables et les matériaux renouvelables dans des situations concrètes RA 3 : Connaissance des contraintes liées à la durabilité et sa mise en pratique	2	Apprentissage en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
1.3 Innovations et perspectives d'avenir	1.3.1. Tendances futures : matériaux émergents, fabrication sans déchets	1. Innovations et perspectives d'avenir 2. Concept de la fabrication sans déchets	RA 1 : Connaissance des nouveaux matériaux durables et des technologies dans le secteur de la construction navale RA 2 : Comprendre le concept de la fabrication sans déchets (zéro-déchet)	1 ½	Apprentissage en classe, basé sur des problèmes posés
	1.3.2. Défis liés à la chaîne d'approvisionnement et obstacles réglementaires	1. Introduction à la chaîne d'approvisionnement dans le secteur de la construction navale 2. Défis logistiques 3. Réglementations et normes	RA 1 : Comprendre la structure et le fonctionnement de la chaîne d'approvisionnement dans la construction navale	1 ½	Apprentissage en classe, basé sur des problèmes posés

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Sous-thème	Activité	Description
1.1.1 Principes de durabilité dans l'industrie maritime	<i>Représentation de la "Boussole de la durabilité"</i>	Objectif : Aider les étudiants à classer les défis liés à la durabilité entre ses piliers environnementaux, sociaux et économiques. Comment : Présenter aux étudiants des scénarii basés sur des exemples existants dans le contexte maritime (ex. : déversements de pétrole, exploitation de la main d'œuvre, rendement énergétique). Tâche : Par petits groupes, détailler chaque scénario sous la forme d'une boussole de la durabilité (E/S/Ec/So). Acquis : Comprendre la durabilité comme un cadre holistique.
1.1.2 Evolution historique : matériaux bio-sourcés vs fibre de verre	<i>La frise chronologique des matériaux</i>	Objectif : Explorer l'évolution des matériaux dans la construction navale, au fil du temps. Comment : Fournir des cartes représentant des matériaux de l'industrie nautique (bois, fibre de verre, lin, fibre de carbone), leur première utilisation dans le contexte maritime et des événements historiques. Tâche : Les groupes placent les cartes sur une frise chronologique et argumentent pour déterminer quelles innovations ont été guidées par la durabilité. Acquis : Reconnaître l'évolution des matériaux et les alternatives durables émergentes.
1.2.1 Analyse du cycle de vie (ACV) dans l'industrie nautique	<i>Le puzzle du cycle de vie</i>	Objectif : Comprendre les différentes étapes du cycle de vie d'un bateau et leurs impacts. Comment : Fournir des cartes représentant les étapes du cycle (extraction des matériaux bruts, transport, utilisation, fin de vie) et les types d'impact (émissions de carbone, toxicité, consommation d'eau). Tâche : Les équipes construisent un organigramme du cycle de vie, puis associent chaque étape à son impact. Acquis : Réaliser comment les choix de conception influencent l'empreinte environnementale totale d'un bateau.

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
1.2.3 Limites de la durabilité : Défis liés au recyclage vs les matières premières renouvelables	<i>Débat : Recyclage vs Renouvelables</i>	Objectif : Examiner les avantages et les inconvénients des différentes stratégies durables. Comment : Les étudiants composent deux équipes : Équipe A : Défend le recyclage des matériaux composites. Équipe B : Soutient les alternatives renouvelables comme le lin et les résines bio-sourcées. Tâche : Chaque équipe prépare ses arguments, basés sur la performance, les coûts, les limites et l'infrastructure. Acquis : Approfondir la compréhension des compromis et des défis dans le contexte réel de la durabilité des matériaux.
1.3.1 Tendances futures : matériaux émergents, fabrication sans déchets	<i>Avenir de la construction navale - Débat sur l'impression 3D</i>	Objectif : Explorer la manière dont les technologies modernes, ex. : l'impression 3D, pourraient transformer la conception des bateaux, les matériaux et les méthodes de construction. Comment : Un débat structuré, en classe, ou une discussion autour de la question : "L'impression 3D va-t-elle révolutionner la manière de construire des bateaux dans le futur ?" Présenter les avantages et inconvénients principaux, séparer les étudiants en groupes avec différents scénarii d'avenir (optimiste, prudent, critique). Tâche : Les étudiants défendent ou présentent différentes hypothèses potentielles pour l'avenir (bateaux intégralement imprimés, modèles hybrides, limites) et discutent de ce que cela implique pour les matériaux, la durabilité, les réglementations et les compétences. Acquis : Anticipation et réflexion d'avenir, compétences d'argumentation et d'esprit critique, approfondissement de la compréhension des impacts de l'innovation.

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 1



Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Introduction aux trois piliers de la durabilité 2. Défis spécifiques aux contextes maritimes : émissions, consommation des ressources, pertes en matériaux	https://europeanboatingindustry.eu/images/Introduction%20to%20Sustainability%20in%20Marinas/Introduction-to-Sustainability-in-Marinas---2nd-Edition.pdf?t=1688484739 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en	Texte à propos des meilleures pratiques de gestion durable, incluant la performance énergétique, la gestion des déchets et les mesures de protection environnementales dans les infrastructures côtières. Contenu à propos du Pacte Vert pour l'Europe, c'est-à-dire la feuille de route stratégique de l'UE visant la neutralité carbone en 2050, incitant aux principes de l'économie circulaire, de la transformation durable de l'industrie et à la protection de la biodiversité.	Document sur les bonnes pratiques en accès libre
1. Introduction au développement des matériaux dans la construction navale : a) Aperçu des matériaux traditionnels utilisés dans la construction navale 3. Comparaison de matériaux (exemples) a) Impact environnemental b) Propriétés mécaniques c) Coûts et disponibilité sur le marché / dans l'industrie	A special issue of Forests (ISSN 1999-4907): Transforming Wood into Smart Materials: Innovations in Processing and Application (https://www.mdpi.com/journal/forests/special_issues/3K75GD42HU) Pagnotta, L. Sustainable Netting Materials for Marine and Agricultural Applications: A Perspective on Polymeric and Composite Developments. Polymers 2025, 17, 1454. https://doi.org/10.3390/polym17111454	Ce numéro est consacré aux dernières avancées en matière de techniques de mise en œuvre, de stratégies de modification des matériaux et d'applications fonctionnelles du bois ou du bambou, visant à offrir aux lecteurs une compréhension approfondie de l'adaptabilité de ces matériaux naturels aux progrès technologiques. Cette publication offre une vue d'ensemble approfondie et actualisée des matériaux polymères et composites utilisés dans les systèmes de filets destinés à des applications maritimes et agricoles, et évalue leur performance mécanique, leur comportement environnemental, et leur compatibilité avec le développement durable.	Publication en accès libre

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 1



Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Vue d'ensemble des réglementations maritimes internationales et régionales (ex. IMO, ISO 14001, directives UE) 2. Introduction à la certification des matériaux et des bateaux durables 3. Le rôle des tendances réglementaires en faveur du changement et de la promotion de la durabilité	ISO 12215 parties 1-4	Ces parties de l'ISO 12215 définissent les propriétés des matériaux (ex. stratifiés, noyaux (âmes), bois, métaux).	Norme disponible sur demande, payante
1. Introduction à l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) - définition et objectif 2. Etapes du cycle de vie d'un bateau: a) Conception et construction b) Transport et distribution c) Phase d'utilisation d) Fin de vie : mise au rebut, recyclage ou réutilisation 3. Identification des émissions, des déchets et de la consommation en ressources à chaque étape.	<u>LCA handbook.</u> https://www.europeanboatingindustry.eu/eu-affairs/lca-blue-boat-horizon	Une référence en matière de méthodologie pour l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), couvrant l'évaluation des impacts, les limites du système, l'interprétation des données, et les outils d'aide à la décision dans l'analyse environnementale. Le contenu encourage l'utilisation de l'ACV dans le secteur de la plaisance pour évaluer et réduire l'impact environnemental à travers la conception, la construction, et la phase d'utilisation des bateaux.	Site internet, en accès libre

Unité 1 : Introduction à la durabilité dans la construction navale / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 1

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
2. Comprendre le cadre des 3R: a) Réduire – minimiser la production de déchets grâce à une conception intelligente et à l'efficacité des ressources b) Réutiliser - allonger la durée de vie des produits ou de leurs composants grâce à la réparation ou à la réutilisation c) Recycler – récupérer les matériaux et les transformer en de nouveaux produits 3. Introduction à l'Economie Circulaire a) Définition et différences avec le modèle linéaire traditionnel "extraire-fabriquer-jeter" b) Principes de base : conception facilitant le démontage, allonger la durée d'utilisation des matériaux, régénérer des systèmes naturels	"Enhancing Waste Resource Efficiency: Circular Economy for Sustainability and Energy Conversion"; Hadad Elroi, Grzymala Z., WójcikCzerniawska A., Szewczyk P. (2023)	Un exemple de texte examinant comment les stratégies d'économie circulaire et l'approche des 3Rs (réduire-réutiliser-recycler) peuvent améliorer l'efficacité énergétique du traitement des déchets et la consommation responsable des ressources dans les systèmes durables de gestion des déchets.	Publication, en accès libre
2. Concept de la fabrication sans déchets	https://teconaut.eu/en/-/LEARNING-CONTENT-ON-EXISTING-AND-POTENTIAL-DEEP-TECH-MATERIALS	Plateforme du projet fournissant des perspectives de matériaux innovants et avancés pour l'industrie marine et les autres, en se concentrant sur les propriétés techniques, la durabilité, et les applications pratiques.	Site internet, en accès libre



Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances



Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.1 Propriétés générales des matériaux et performance	2.1.1 Propriétés des matériaux : caractéristiques et applications	1. Introduction aux matériaux utilisés dans la construction navale 2. Vue d'ensemble des principaux groupes de matériaux : fibres naturelles, fibres recyclées, fibres minérales, et matrices polymères 3. Propriétés clés des matériaux : mécaniques (traction, flexion, compression), physiques (densité, absorption d'humidité), durabilité chimique (UV, résistance à l'eau salée), et aptitude à la transformation (maniabilité) 4. Correspondance entre les caractéristiques des matériaux et les domaines d'application (ex. coques, ponts, structures intérieures) 5. Bases de l'évaluation de la durabilité : réflexion sur l'ensemble du cycle de vie, renouvelabilité, recyclabilité	RA 1 : Evaluer les propriétés générales et les performances des matériaux durables; RA 2 : Examiner les propriétés chimiques des composants; RA 3 : Identifier les critères de base pour sélectionner les matériaux durables utiliser dans la construction navale.	1	Cours interactif avec des exemples concrets
	2.1.2 Propriétés mécaniques	1. Rappel des termes pour les propriétés mécaniques clés : traction, flexion, compression, torsion, résistance à l'impact 2. Explication de l'influence de l'orientation des fibres, du type de résine et du procédé de stratification sur les performances mécaniques 3. Introduction à la structure des composites : interaction entre les fibres et la matrice 4. Exemples pratiques : comment diffèrent les contraintes mécaniques entre les coques, les cloisons intérieures et les panneaux 5. Premier coup d'œil aux méthodes de tests mécaniques de base (ex. dispositif d'essai de flexion, essai de déviation manuelle) 6. Interprétation des données de performance mécanique sous une forme simplifiée		2	Cours avec démonstration

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.1 Propriétés générales des matériaux et performance	2.1.3 Propriétés chimiques des composants composites	1. Introduction aux facteurs de stress chimiques et environnementaux : radiation UV, humidité, salinité, température 2. Différences dans le comportement de dégradation entre les fibres naturelles et les composites synthétiques 3. Symptômes d'altération typiques : cloquage, délamination, décoloration, dégradation des fibres 4. Influence du type de résine sur la durabilité (ex. polyester vs epoxy vs bio-sourcée) 5. Stratégies simples pour la prévention et la protection 6. Tests simples qui peuvent être pratiqués hors d'un laboratoire dédié (ex. trempage, vieillissement aux UV à l'aide d'une lampe)	RA 1 : Evaluer les propriétés générales et les performances des matériaux durables; RA 2 : Examiner les propriétés chimiques des composants; RA 3 : Identifier les critères de base pour sélectionner les matériaux durables utiliser dans la construction navale.	1	Cours interactif avec photos et échantillons
	2.1.4 Sélection des matériaux et durabilité dans un cycle de vie individuel	1. Critères de durabilité dans la sélection des matériaux : environnemental, santé/sécurité, technique, et économique 2. Etapes du cycle de vie : extraction des matières premières, production, utilisation, entretien, mise au rebut ou recyclage 3. Vue d'ensemble des impacts environnementaux : émissions, consommation d'énergie, transport 4. Exigences et défis liés à la recyclabilité des composites 5. Compromis : équilibrer performance, longévité et empreinte écologique 6. Introduction aux matrices de décision qualitatives ou aux tableaux comparatifs		2	Débat de groupe guidé

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.1 Propriétés générales des matériaux et performance	2.1.5 Défauts de fabrication courants	1. Vue d'ensemble des défauts de fabrication courants dans les composites : - Bulles d'air (vides) - Zones sèches - Mauvais alignement des fibres - Zones avec résine en surplus - Délamination 2. Causes courantes lors de la stratification ou de l'infusion 3. Impact des défauts sur les performances mécaniques et chimiques 4. Méthodes d'inspection visuelle et classification simplifiée du niveau de gravité des défauts 5. Lien entre le contrôle des processus et la qualité des pièces	RA 1 : Evaluer les propriétés générales et les performances des matériaux durables; RA 2 : Examiner les propriétés chimiques des composants; RA 3 : Identifier les critères de base pour sélectionner les matériaux durables utiliser dans la construction navale.	1	Cours avec démonstration

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.2 Matières premières et composants durables	2.2.1 Matières premières et composants durables dans les composites	1. Introduction aux fibres de renforcement utilisées dans les composites durables 2. Principaux types de fibres : lin, chanvre, jute, basalt, PET recyclé (rPET), cellulose reconstituée 3. Différences entre fibres techniques et non-techniques (ex. : résistance, homogénéité, traitement) 4. Caractéristiques physiques : résistance, rigidité, absorption d'humidité, densité 5. Impact environnemental : renouvelabilité, recyclabilité, consommation d'énergie 6. Applications particulières dans la construction navale : cloisons intérieures, parties de coque, longerons (poutres)	RA 1 : Identifier et décrire les matières premières et les différents composants durables utilisés dans les composites	2 ½	Activité de groupe exploratoire avec des échantillons
	2.2.2 Textiles : tissus dans les composites	1. Vue d'ensemble des structures de tissus dans les composites : - Tissus tissés (ex. : unis, en sergé) - Non-tissés (tapis, feutres) - Renforcements unidirectionnel (UD) - Tissus etc. 2. Influence de l'orientation des fibres sur la résistance et la rigidité 3. Drapabilité : flexibilité et adaptabilité d'un tissu aux surfaces incurvées 4. Applications spécifiques pour chaque type de tissu dans la construction navale 5. Lien entre architecture, complexité de mise en œuvre et performance mécanique		2 ½	Démonstration interactive avec des exemples

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.2 Matières premières et composants durables	2.2.3 Matrices polymères : thermoplastiques, thermodurcissables, résines biosourcées	1. Rôle fonctionnel de la matrice dans les composites 2. Thermodurcissables vs. thermoplastiques : - Propriétés (par ex. comportement au durcissement, ténacité, réparabilité) - Caractéristiques de traitement 3. Introduction aux résines biosourcées (par ex. bio-epoxy) 4. Recyclabilité des différentes matrices 5. Logique de choix des matériaux : exigences mécaniques vs objectifs de durabilité	RA 1 : Identifier et décrire les matières premières et les différents composants durables utilisés dans les composites	1	Brève présentation accompagnée d'un tableau comparatif
	2.2.4 Additifs et agents de compatibilité : leur rôle dans la durabilité	1. Que sont les additifs ? (Définition de base : substances ajoutées aux plastiques pour améliorer leurs performances) 2. Types d'additifs courants : - Produits ignifuges (retardateurs de flamme) - Stabilisateurs UV - Plastifiants (pour la flexibilité) 3. Que sont les agents compatibilisants ? - Additifs qui favorisent la cohésion des fibres et de la matrice 4. Pourquoi ils sont importants : - Meilleure adhérence, durée de vie prolongée des pièces, dispositifs de sécurité 5. Aspects environnementaux : - Les additifs peuvent réduire la recyclabilité ou augmenter la toxicité 6. Principe de base des additifs "durables" (biosourcés ou alternatives non-toxiques).		½	Présentation des données d'entrée avec des exemples de tests

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.2 Matières premières et composants durables	2.2.5 Ames (noyaux) de sandwichs durables : bois de Balsa, liège, PET recyclé, bois	1. Introduction à la structure en sandwich dans les composites 2. Matériaux d'âmes durables courants : - Bois de Balsa - Liège - Mousse en PET recyclé - Contreplaqué et autres âmes en bois 3. Comparaison des propriétés des différents noyaux : - Rigidité - Poids - Résistance à l'humidité 4. Aspects de mise en œuvre : découpe, liaison, compatibilité avec les systèmes de résine 5. Impact environnemental : - Renouvelable vs. recyclé - Approvisionnement, consommation d'énergie lors de la production, potentiel de réutilisation	RA 1 : Identifier et décrire les matières premières et les différents composants durables utilisés dans les composites	1 ½	Présentation avec tests sur échantillons
	2.2.6 Éléments recyclés : utilisation de matériaux composites réutilisés	1. Qu'est-ce qui peut être réutilisé recyclé ? 2. Les défis dans l'utilisation de matériaux recyclés 3. Stratégies de réutilisation concrètes dans la construction navale 4. Conception en vue de la réutilisation 5. Bénéfices environnementaux		2	Apprentissage en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Plan du Cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (heures)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
2.3 Solutions biosourcées et écologiques	2.3.1 Études de cas : bateaux construits à partir de fibres naturelles ou innovantes	1. Introduction : Pourquoi utiliser des fibres naturelles dans la construction navale ? 2. Présentation d'études de cas sélectionnées : - Types de bateaux (par ex. dériveurs, voiliers, composants) - Fibres et systèmes de résines utilisés - Méthodes de fabrication 3. Motivation à l'origine de chaque projet (par ex. réduction des émissions de CO₂, marketing, réglementation) 4. Enseignements et défis rencontrés (coûts, durabilité, évolution) 5. Transposition au contexte d'apprentissage : qu'est-ce qui peut être mis en œuvre et qu'est-ce qui doit être évité ?	RA : Comprendre les solutions de composites bio-sourcées et leurs applications	3	Présentation animée par un formateur avec comparaison par groupe
	2.3.2 Polymères biosourcés, adhésifs, composites recyclables, conception « cradle-to-cradle »	1. Zoom sur les matériaux d'origine biologique : - Bio-résines et adhésifs (d'origine végétale, à faibles émissions de COVs) - Différences entre bio-sourcés et biodégradables 2. Composites recyclables vs composites recyclés : - Ce qu'implique la conception et le choix des matériaux 3. Philosophies de la durabilité : - "Cradle-to-cradle" (du berceau au berceau) (circulaire) vs. "cradle-to-grave" (du berceau à la tombe) (linéaire) 4. Stratégies de conception circulaires : - Conception en vue du démontage (DfD) - Séparation des matériaux - Composants modulaires réparables 5. Pertinence dans la pratique : contextes d'émergence de ces concepts dans le secteur maritime		2	Exercice interactif de conception en groupe (apprentissage par projet)

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
2.1.2 Propriétés mécaniques	<i>Exercice pratique de comparaison de stratifiés – Comprendre l'orientation des fibre et le comportement mécanique</i>	Objectif : Les étudiants découvrent comment l'orientation des fibres et la méthode de stratification affectent le comportement mécanique, en évaluant la rigidité, la flexibilité, la réaction à la torsion. Notes pour le formateur : L'organisation de l'activité peut être adaptée en fonction des ressources disponible dans l'atelier. Préparation : Préparer 3-4 petits composites stratifiés avec la même matrice mais différents agencements de fibres (unidirectionnel, croisé, $\pm 45^\circ$, fibre naturelle tissée (en option)) de taille A5 ou plus petit. Travail de groupe : Les étudiants testent manuellement la flexion, la torsion, la compression; rendent compte du comportement des différents composites; débâtent pour déterminer quels composite est adapté à quelle partie du bateau. Résultats d'apprentissage : Identifier l'influence de l'orientation des fibres; associer une expérience tactile concrète avec la terminologie mécanique correspondante; appliquer ses connaissances en matière de stratification aux composants réels d'un bateau.
2.1.2 Propriétés mécaniques	<i>Zoom sur les défauts de fabrication</i>	Objectif : Les étudiants analysent des échantillons de composites défailants afin d'identifier les problèmes de fabrication. Teaching Notes: Activité conçue pour une connaissance plus approfondie grâce à une observation tactile concrète; adaptable en fonction des disponibilités. Préparation : Sélectionnez des échantillons composites déjà cassés présentant des ruptures de fibres, des fissures dans la matrice ou une délamination. Étiquetez-les à l'usage exclusif de l'instructeur. Structure: 1) Examen pratique d'échantillons défectueux. 2) Discussion en groupe établissant un lien entre les indices visuels et le type d'échec ainsi que ses causes. 3) Contextualisation rapportée aux parties d'un bateau Résultats d'apprentissage : Identifier les défauts de fabrication dans les composites; comprendre les liens entre les problèmes de fabrication, la structure des matériaux, et les types de dommages; faire correspondre les défauts et les risques dans le domaine de la construction navale.

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
2.1.2 Propriétés mécaniques	<i>Essai pratique – Découvrez les performances</i>	Objectif : Rendre les concepts mécaniques concrets grâce à des essais physiques. Notes pour le formateur : Nécessite des échantillons de matériaux simples et déjà préparés. Préparation : Echantillons : stratifié sandwich en mousse PET, contreplaqué marin, stratifié en fibres solides (par ex. lin + epoxy). Bille en acier (en option) pour l'essai de chute. Partie 1 : Essai de déviation manuel : Les élèves observent la flexion, le rebond et les indices sonores. Partie 2 : Test de chute : observer le rebond, les fissures et les risques de dommages internes. Le port de lunettes de sécurité est obligatoire. Partie 3 : Carnets de bord : les élèves notent les comportements et les propriétés qu'ils dénotent. Résultats d'apprentissage : Établir un lien entre le comportement et les paramètres mécaniques ; observer les différences entre les matériaux de base ; réfléchir aux implications en matière de sécurité et de durabilité.
2.1.2 Propriétés mécaniques	<i>Comportement contrainte-déformation – Analyse et interprétation des données sur les matériaux</i>	Objectif : Aider les apprenants à interpréter les courbes contrainte-déformation et à les mettre en relation avec le comportement réel des matériaux. Notes pour le formateur : Rassemble des essais physiques et des données d'ingénierie ; aucune connaissance mathématique avancée n'est requise. Préparation : Imprimer les courbes contrainte-déformation simplifiées pour les composites à base de lin, de verre et de carbone, ainsi que les courbes de compression pour la mousse et le contreplaqué. Diagrammes vierges en option. Partie 1 : Présentation des différentes zones de la courbe contrainte-déformation (zone élastique, zone de fluage, limite d'élasticité, rupture). Partie 2 : Comparer les courbes entre différents matériaux ; établir un lien avec les observations précédentes. Partie 3 : Aborder les limites des données et leur imprévisibilité (directionnalité, impact vs chargement lent). Partie 4 : Mini-projet : choix des matériaux pour une pièce de bateau fictive. Résultats d'apprentissage : Comprendre les courbes contrainte-déformation ; comparer les matériaux de manière analytique ; établir un lien entre les données et l'expérience pratique.

Sous-thème	Activité	Description
2.1.5 Défauts de fabrication	<i>Activité d'identification des défauts de fabrication</i>	Objectif : Aider les étudiants à identifier les défauts de stratification courants et comprendre leurs causes et leurs conséquences. Notes pour le formateur : De nombreux apprenants constatent les défauts, mais ne savent pas d'où ils proviennent. Préparation : Fournir des échantillons/photos de défauts : bulles d'air/vides, zone sans résine, mauvais alignement des fibres, délamination. Fournir une fiche de travail comprenant un tableau des défauts : symptômes, causes, conséquences, mesures de prévention. Partie 1 : Les élèves passent d'un poste d'observation à l'autre ; ils remplissent la fiche de travail et émettent des hypothèses sur les causes. Partie 2 : Discussion de groupe sur la visibilité des défauts, leur impact à long terme et les expériences tirées des ateliers. Facultatif : Créer intentionnellement des défauts types ; montrer une vidéo illustrant une défaillance du système d'injection. Résultats d'apprentissage : Identifier les signes visuels ; comprendre les causes liées à la production ; apprendre à prévenir les défauts ; renforcer la réflexion liée à l'assurance qualité.
2.2.1 Les catégories de matières premières	<i>Exploration des fibres (Naturelles, Minérales, Recyclées)</i>	Objectif : Les élèves étudient et comparent différents types de fibres de renfort à travers des activités pratiques d'inspection et d'analyse, en établissant un lien entre ces fibres et leurs applications maritimes ainsi que la durabilité.. Préparation : Fournir des échantillons de lin, de chanvre, de jute (naturel), de basalte (minéral), de PET recyclé (rPET) et de cellulose régénérée. Fournir des fiches d'identification des fibres indiquant l'origine, les propriétés (densité, rigidité, durabilité), les applications maritimes et les aspects environnementaux. Fournir une fiche de travail correspondante (type de fibre, utilisation courante, avantages/compromis en matière de durabilité). Outils facultatifs : loupe, microscope, balance. Partie 1 : Rotation entre les ateliers sur les fibres. Les élèves passent d'un atelier à l'autre, touchent et examinent les fibres, lisent des fiches d'information et remplissent une fiche de travail. Partie 2 : Réflexion avec toute la classe ; tri des fibres en trois catégories (naturelles, minérales, recyclées) ; discussion sur la résistance, la durabilité et les éléments surprenants. Facultatif : Identification à l'aveugle ; débat sur l'application concernant le choix des fibres pour les panneaux de pont, etc. Résultats d'apprentissage : Identifier les fibres ; les adapter aux applications maritimes ; évaluer leur profil de durabilité.

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Instructions pour les activités



Sous-thème	Activité	Description
2.2.2 Tissus	<i>Atelier sur les différents tissus : tissés, non-tissés, UD (unidirectionnels)</i>	Objectif : Les étudiants apprennent comment les tissus se comportent dans les sandwichs composites grâce à des essais pratiques et à des exercices de drapage. Préparation : Prévoir des tissus tissés (unis, en sergé), des tissus unidirectionnels, des nattes non tissées, ainsi que des petits moules (demi-sphère, coin, plateaux), du ruban adhésif, des ciseaux, des marqueurs et de la colle en spray (facultatif). Fiches de travail pour l'identification et les notes de drapage. Partie 1 – Démonstration sur l'orientation et l'anisotropie : les étudiants marquent le sens des fibres sur des tissus unidirectionnels, puis tirent le long et perpendiculairement aux fibres pour observer l'anisotropie. Discussion sur les implications pour les chemins de charge dans la construction navale. Partie 2 – Exercice de drapage : les élèves s'efforcent de draper des tissus sur des moules courbes, observent les plis et les froissements, effectuent des découpes de soulagement, comparent le comportement au drapage et notent quels tissus tombent le mieux. Résultats d'apprentissage : Identifier les formes textiles ; comprendre le lien entre l'armure, l'orientation des fibres et le drapé ; reconnaître l'importance de l'orientation pour la résistance et la durabilité.
2.2.5 Noyaux (âmes) de sandwichs composites durables	<i>Atelier : Comparer les matériaux d'âme (noyau)</i>	Objectif : Les étudiants comparent les matériaux d'âmes durables (balsa, liège, mousse PET recyclé, nids d'abeille papier compressé, PVC facultatif pour référence) grâce à l'inspection, à la comparaison du poids, aux tests de déviation, et aux considérations en matière de durabilité. Matériaux nécessaires : Échantillons de chaque carottage ; fiches de profil ; fiches de calcul pour la structure, le poids et la rigidité ; dispositif d'essai de flexion (livres + goujon) ; balance ; règle ou charge. Procédure : 1. Introduction : Passer en revue les caractéristiques essentielles d'un sandwich ; poser la question suivante : « Qu'est-ce qui fait un bon matériau d'âme ? » 2. Rotation par groupes : les élèves manipulent chaque carotte, effectuent des tests de base et notent leurs observations. 3. Comparaison et raisonnement : les élèves remplissent un tableau décisionnel : meilleur cas d'utilisation par noyau, compromis (rigidité, résistance à l'eau, coût, durabilité). 4. Discussion : Quel matériau les a surpris ? Où utiliser le liège et la structure en nid d'abeille ? Faut-il faire confiance au balsa sous la ligne de flottaison ? Résultats d'apprentissage : Comprendre les différences entre les matériaux grâce à une comparaison tactile ; identifier les implications en matière de durabilité ; s'exercer à choisir les matériaux de manière structurée.

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
2.2.6 Elements recyclés	<i>Ateliers : Réutilisation de chutes de composites</i>	Objectif : Les apprenants élaborent des stratégies concrètes de réutilisation, comprennent les limites du recyclage et réfléchissent à la durabilité dans le cadre des activités quotidiennes de l'atelier professionnel. Matériaux nécessaires : Boîte contenant les chutes de l'atelier (chutes de stratifié, nattes de fibre inutilisées, préimprégnés périmés, pots de résine, découpes de noyaux, gabarits cassés). Fiches de travail pour une séance de réflexion sur la réutilisation. Illustration de la hiérarchie des déchets. Procédure : 1. Mise en contexte : présenter le concept « ne pas jeter, mais repenser » ; souligner l'impact environnemental des déchets composites. 2. Exploration en groupe : les élèves trient les déchets, identifient les éléments réutilisables et proposent des idées de réutilisation (structure, outillage, emballage, formation, créativité). Ils tiennent compte des risques liés à la sécurité et de la limitation des déchets. 3. Documentation : Les groupes élaborent un plan de réutilisation pour 2 ou 3 objets, dressent la liste des restrictions et discutent pour déterminer si ces déchets auraient pu être évités. 4. Présentations (facultatif) : les groupes présentent leurs idées. Résultats d'apprentissage : Comprendre les limites du recyclage ; élaborer des stratégies concrètes de réutilisation ; intégrer une démarche durable dans les décisions quotidiennes prises au sein de l'atelier.

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Instructions pour les activités



Sous-thème	Activité	Description
2.3.2 Solutions "eco-friendly"	Atelier sur les composants de la conception circulaire	Objectif : Les étudiants mettent en pratique la pensée circulaire dans le cadre d'un projet de conception concret. L'accent est mis sur la compréhension des systèmes : approvisionnement en matériaux, utilisation, fin de vie, compromis en matière de durabilité, implications pour la fabrication. Matériaux nécessaires : Fiches de conception (exemples de composants ou définies par les participants) ; tableaux à feuilles mobiles ou grandes feuilles de papier ; fiches techniques sur les matériaux (bio-époxy, polyester, thermoplastique ; lin, verre, basalte, PET recyclé ; balsa, mousse PET recyclé, liège, nid d'abeille) ; vidéos ou études de cas facultatives sur la conception marine circulaire ; fiche de travail pour consigner les matériaux et les stratégies circulaires. Procédure de l'atelier : 1. Introduction – Que signifie « circulaire » ? Présentation des concepts « du berceau au berceau » et « du berceau à la tombe » ; exemples de bateaux conçus pour être démontés, réutilisés de manière modulaire ou fabriqués à partir de matériaux à faible impact environnemental (par exemple, des composites à base de lin). 2. Présentation de l'exercice – Conception d'un composant dans une optique circulaire : les groupes conçoivent un composant pour un petit bateau en appliquant les principes de l'économie circulaire. Ils choisissent les matériaux, réfléchissent aux aspects liés à la production et à la réparation, et définissent un plan de réutilisation/recyclage. 3. Phase de conception en groupe : brainstorming, esquisses, recherches. Réalisation d'une présentation au format A3 ou sur tableau à feuilles mobiles, incluant les choix de matériaux, les stratégies de recyclage, les compromis et les possibilités de seconde vie. 4. Présentations des équipes : les groupes présentent leur projet ; commentaires des autres étudiants et de l'enseignant. Résultats d'apprentissage : Les étudiants comprennent les compromis de la durabilité ; appliquent une approche axée sur le cycle de vie aux pièces composites ; mettent en œuvre des stratégies de conception circulaire allant au-delà du simple recyclage ; communiquent sur les considérations écologiques. Conseils pour le formateur : Faites le lien avec les pratiques réelles de l'entreprise ou invitez un intervenant extérieur ; encouragez les participants à « réfléchir à rebours » en partant de la fin de la vie.

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 2

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Introduction aux facteurs de stress chimiques et environnementaux : radiation UV, humidité, salinité, température 4. Influence du type de résine sur la durabilité (ex. polyester vs epoxy vs bio-sourcée)	Ali, Dr-Ahmed & Mohamed, Hamdy & ElSafty, Adel & Benmokrane, Brahim. (2017). INFLUENCE OF RESIN TYPE ON PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF GLASS-FRP BARS.	Communication présentant des expériences menées sur des barres en polymère renforcé de fibres de verre avec différents types de résine (isopolyester, vinylester, polyuréthane et époxy)	Communication de conférence, disponible sur autorisation des auteurs
1. Critères de durabilité dans la sélection des matériaux : environnemental, santé/sécurité, technique, et économique 2. Etapes du cycle de vie : extraction des matières premières, production, utilisation, entretien, mise au rebut ou recyclage 3. Vue d'ensemble des impacts environnementaux : émissions, consommation d'énergie, transport 4. Exigences et défis liés à la recyclabilité des composites 5. Compromis : équilibrer performance, longévité et empreinte écologique 6. Introduction aux matrices de décision qualitatives ou aux tableaux comparatifs	https://as-proceeding.com/index.php/icaens/article/download/1035/971 Xianhui Zhao, Katie Copenhaver, Lu Wang, Matthew Korey, Douglas J. Gardner, Kai Li, Meghan E. Lamm, Vidya Kishore, Samarthya Bhagia, Mehdi Tajvidi, Halil Tekinalp, Oluwafemi Oyededeji, Sanjita Wasti, Erin Webb, Arthur J. Ragauskas, Hongli Zhu, William H. Peter, Soydan Ozcan, Recycling of natural fiber composites: Challenges and opportunities, Resources, Conservation and Recycling, Volume 177, 2022, 105962, ISSN 0921-3449, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105962. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921005711) Chapitre 5 du Guide "Eco-Boat building"	Brève publication scientifique sur les méthodes de recyclage : mécaniques, thermiques et chimiques Publication scientifique sur l'impact du recyclage sur la qualité et les propriétés mécaniques des fibres naturelles Présentation de la méthodologie de l'ACV	Accès libre

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 2

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Introduction aux facteurs de stress chimiques et environnementaux : rayonnement UV, humidité, eau salée, température. 4. Influence du type de résine sur la durabilité (par exemple : polyester vs époxy vs résines biosourcées).	Ali, Dr-Ahmed & Mohamed, Hamdy & ElSafty, Adel & Benmokrane, Brahim. (2017). INFLUENCE OF RESIN TYPE ON PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF GLASS-FRP BARS.	Article de conférence portant sur l'étude expérimentale de barres en polymère renforcé de fibres de verre (PRFV/GFRP) fabriquées avec différents types de résines : isopolyester, vinylester, polyuréthane et époxy.	Article de conférence, disponible uniquement avec l'autorisation des auteurs.
1. Dimensions de la durabilité dans le choix des matériaux : environnementales, santé/sécurité, techniques et économiques. 2. Étapes du cycle de vie : extraction des matières premières, production, utilisation, maintenance, fin de vie ou recyclage. 3. Aperçu des impacts environnementaux : émissions, consommation d'énergie, transport. 4. Exigences et défis liés à la recyclabilité des matériaux composites. 5. Compromis : équilibre entre performance, durabilité et empreinte écologique. 6. Introduction aux matrices de décision qualitatives ou aux tableaux comparatifs.	https://as-proceeding.com/index.php/icaens/article/download/1035/971 Xianhui Zhao, Katie Copenhaver, Lu Wang, Matthew Korey, Douglas J. Gardner, Kai Li, Meghan E. Lamm, Vidya Kishore, Samarthya Bhagia, Mehdi Tajvidi, Halil Tekinalp, Oluwafemi Oyedele, Sanjita Wasti, Erin Webb, Arthur J. Ragauskas, Hongli Zhu, William H. Peter, Soydan Ozcan, Recycling of natural fiber composites: Challenges and opportunities, Resources, Conservation and Recycling, Volume 177, 2022, 105962, ISSN 0921-3449, https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105962. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921005711) Chapitre 5 du guide de construction de bateaux écologiques	Courte publication scientifique sur les méthodes de recyclage : mécanique, thermique et chimique Publication scientifique : impact du recyclage sur la qualité et les propriétés mécaniques des fibres naturelles Aperçu de la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie	Public, Publications scientifiques

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 2

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
	https://www.addcomposites.com/post/defects-and-damage-in-composite-materials-and-structures#headline2	Un guide clair, simple et axé sur la pratique concernant les composites, les défauts et leurs impacts, avec de nombreuses ramifications vers d'autres thèmes connexes et pertinents	Site internet, accès libre
	https://www.marineshift360.org/#lcatool https://www.openlca.org/	Présentation de l'outil gratuit MarineShift360 ; accès à l'outil via la création d'un compte, notamment pour obtenir la licence « Educational Light » Accès à l'outil gratuit et professionnel OpenLCA dédié à l'ACV via téléchargement (logiciel libre)	Application gratuite, accessible via un navigateur et logiciel open source d'analyse du cycle de vie (ACV)
1. Vue d'ensemble des structures de tissus dans les composites : - Tissus tissés (ex. : unis, en sergé) - Non-tissés (tapis, feutres) - Renforcements unidirectionnel (UD) - Tissus etc. 2. Influence de l'orientation des fibres sur la résistance et la rigidité 3. Drapabilité : flexibilité et adaptabilité d'un tissu aux surfaces incurvées	https://www.youtube.com/watch?v=yn9UScW_YJc https://www.youtube.com/watch?v=3Lt87LKaZUU	Présentations sur les fibres, présentant des échantillons et leurs caractéristiques, leur origine, leur impact environnemental et leur répartition	Vidéos YouTube, accès libre
	Amit Rawal, Abhijit Majumdar, Vijay Kumar V, The Author(s) 2023. Published by Oxford University Press : Textile architecture for composite materials : back to basics (https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1808412/FULLTEXT01.pdf) Yasser S. Mohamed, Ahmed Abdelbary, Theoretical and experimental study on the influence of fiber orientation on the tensile properties of unidirectional carbon fiber/epoxy composite, Alexandria Engineering Journal, Volume 67, 2023, Pages 693-705, ISSN 1110-0168, (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016822008420)	Publication scientifique consacrée exclusivement à l'analyse des textiles tissés, non tissés, tricotés et tressés Publication scientifique portant sur des expériences menées sur différents échantillons de composites présentant différentes orientations des fibres	Publications scientifiques, accès libre

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 2



Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
	https://www.youtube.com/watch?v=yQo4ucV3jfA	Rappel en matière de prévention des risques et de consignes de sécurité Présentation de différents types de matrices	Vidéo YouTube, accès libre
3. Que sont les agents compatibilisants ? - Additifs qui favorisent la cohésion des fibres et de la matrice 4. Pourquoi ils sont importants : - Meilleure adhérence, durée de vie prolongée des pièces, dispositifs de sécurité	Sakshi Shantharam Kamath, Ravi Kumar Chandrappa, Additives used in natural fibre reinforced polymer composites-a review, Materials Today: Proceedings, Volume 50, Part 5, 2022, Pages 1417-1424, ISSN 2214-7853, https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.331. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532105776X) https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/compatibilizer https://www.youtube.com/watch?v=4zpQwirFsbk https://www.youtube.com/watch?v=tiS8ArzEA58 https://www.youtube.com/watch?v=TNM8-pPPk-M https://www.youtube.com/watch?v=Bqb7iA6AG-g	Analyse scientifique des additifs utilisés avec les fibres naturelles Plusieurs articles sur les agents de compatibilité Cours magistral sur les assemblages en sandwich (niveau avancé, calcul des paramètres mécaniques, etc.) Présentation des avantages de la construction en sandwich à l'aide de démonstrations simples mais claires, et mise en avant du balsa comme matériau d'âme particulièrement performant Construction de l'IY Open60AAL avec un focus sur le balsa et la stratification Comparaison de quelques matériaux d'âme	Publications scientifiques, autorisation des auteurs requise, vidéos YouTube en accès libre
1. Qu'est-ce qui peut être réutilisé recyclé ? 2. Les défis dans l'utilisation de matériaux recyclés	https://www.youtube.com/watch?v=ynGKEYIYXQo Daniele Tortorici, Yi Chen, Leon Mishnaevsky, Susanna Laurenzi, Recycling carbon fibers by solvolysis: Effects of porosity and process parameters, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Volume 190, 2025, 108667, ISSN 1359-835X, https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2024.108667. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X24006651)	Projet d'économie circulaire pour les composites Publication scientifique sur la solvolyse	Vidéo YouTube en accès libre, publication scientifique sur demande

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 2

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Qu'est-ce qui peut être réutilisé recyclé ? 2. Les défis dans l'utilisation de matériaux recyclés	Kooduvalli, K., Unser, J., Ozcan, S., & Vaidya, U. K. (2022). Embodied Energy in Pyrolysis and Solvolysis Approaches to Recycling for Carbon Fiber-Epoxy Reinforced Composite Waste Streams. <i>Recycling</i>, 7(1), 6. https://doi.org/10.3390/recycling7010006 https://www.mdpi.com/2313-4321/7/1/6 Yongxiang Yang, Rob Boom, Brijan Irion, Derk-Jan van Heerden, Pieter Kuiper, Hans de Wit, Recycling of composite materials, <i>Chemical Engineering and Processing: Process Intensification</i>, Volume 51, 2012, Pages 53-68, ISSN 0255-2701, https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.09.007. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270111002029)	Publication scientifique comparant les aspects énergétiques de la pyrolyse et de la solvolyse Publication scientifique sur les méthodes et les enjeux du recyclage des composites	Publications scientifiques sur demande
2. Présentation d'études de cas sélectionnées : - Types de bateaux (par ex. dériveurs, voiliers, composants) - Fibres et systèmes de résines utilisés - Méthodes de fabrication 3. Motivation à l'origine de chaque projet (par ex. réduction des émissions de CO₂, marketing, réglementation)	https://www.youtube.com/watch?v=uD7UxlwumWU https://www.proboat.com/2022/05/greenboats-flax/ https://www.compositesworld.com/news/alliance-for-european-flax-linen-and-hemp-reports-increasing-flax-fiber-adoption-in-marine https://www.metstrade.com/news/sustainability/bio-based-and-recyclable-materials-prove-themselves	Projet ANT ARCTIC LAB project (fibre minérale pure) Rapport sur les réalisations de Greenboats Article sur plusieurs projets portant sur différentes fibres et différents bateaux Article sur divers projets reposant sur différents concepts durables	Vidéo YouTube, articles de sites internet, accès libre

Unité 2 : Matériaux durables, propriétés et performances / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 2

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Zoom sur les matériaux d'origine biologique : - Bio-résines et adhésifs (d'origine végétale, à faibles émissions de COVs) - Différences entre bio-sourcés et biodégradables 4. Stratégies de conception circulaires : - Conception en vue du démontage (DfD) - Séparation des matériaux - Composants modulaires réparables	https://entropyresins.com/bioinfusion/ https://greenpoxy.org/ Durmisevic, Elma & FIKKERT, Rick & Otheguy, Mariano. (2013). DfD as a Methodology to Improve the Sustainability of Offshore Accommodation. Technology Review 2013. (https://www.researchgate.net/publication/258837862_DfD_as_a_Methodology_to_Improve_the_Sustainability_of_Offshore_Accommodation)	Site internet de l'un des rares producteurs de résine epoxy bio-sourcée (Entropy Resins) Site internet de l'un des rares producteurs de résine epoxy bio-sourcée (Greenpoxy - Sicomin) Publication scientifique sur le DfD ("Design for disassembly" = conception en vue du démontage)	Sites internet et publication scientifique, accès libre



Unité 3:

Techniques de

mise en œuvre

dans les

travaux de

fabrication et

de réparation



Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Plan du cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
3.1 Méthodes de fabrication durables	3.1.1 Outils, équipement, préparation de la surface	1. Introduction aux outils à main et au matériel utilisés pour la mise en œuvre des composites : - Ciseaux, rouleaux, tissus d'arrachage, pinceaux, sacs sous vide, pompes d'infusion 2. Principes de base de la préparation des surfaces : - Nettoyage, ponçage, dégraissage - Importance de la qualité de la surface pour l'adhérence 3. Consignes de sécurité relatives à la manipulation des outils et des produits chimiques 4. Différences dans l'utilisation des outils entre les matériaux durables et les matériaux conventionnels 5. Indicateurs visuels pour les surfaces « prêtes à être stratifiées »	RA : Les apprenants identifient et utilisent en toute sécurité les outils et équipements de base nécessaires à la fabrication de composites. Ils comprennent et mettent en œuvre des étapes simples de préparation des surfaces.	4	Démonstration pratique avec du matériel. Brève intervention de l'animateur.
	3.1.2 Structures textiles : travailler avec des textiles en fibres naturelles	1. Introduction aux textiles en fibres naturelles utilisés dans les composites : - lin, chanvre, jute, kéraf 2. Types de tissus : - Tissus, non-tissés, nattes unidirectionnelles 3. Principales caractéristiques des textiles naturels : - Drapabilité, épaisseur, orientation des fibres, sensibilité à l'humidité 4. Influence de la structure textile sur les performances mécaniques et l'aptitude à la transformation 5. Domaines d'application dans la construction navale : panneaux d'intérieur, éléments non structurels, etc.	RA : Les apprenants identifient les types de textiles fabriqués à partir de fibres naturelles et décrivent en quoi leur structure influe sur le processus de fabrication et les performances du produit.	8	Séance pratique sur la stratification, encadrée par un formateur.

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Plan du cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
3.1 Méthodes de fabrication durables	3.1.3 Techniques de stratification : application de résines biosourcées avec des fibres innovantes	1. Introduction aux étapes de base de la stratification : - Découpe des fibres, mélange des résines, application de la résine au rouleau ou au pinceau 2. Caractéristiques des matériaux : - Manipulation des textiles en lin ou en basalte - Comportement à l'imprégnation des systèmes de résines d'origine biologique 3. Aspects clés du processus : - Durée de travail, déplacement des fibres, mise en place des couches 4. Conseils pratiques pour réussir la stratification 5. Durcissement et post-traitement (bref aperçu) 6. Préparation en vue de la comparaison lors de la prochaine session (3.1.4) : les panneaux seront endommagés puis réparés ultérieurement	RA : Les apprenants mettent en pratique un procédé de base de stratification manuelle à l'aide de fibres naturelles et de résines d'origine biologique. Ils suivent les étapes clés du procédé et réalisent un panneau stratifié pouvant faire l'objet d'une inspection visuelle et d'une comparaison.	11	Exercice pratique guidé
	3.1.4 Défis : difficultés de traitement et optimisation des matériaux durables	Groupe A : Fibres naturelles, stratification manuelle (procédé ouvert) Groupe B : Fibres de verre, stratification manuelle Démonstration du formateur : Fibres naturelles par infusion sous vide (procédé en circuit fermé) Sujets abordés : 1. Manipulation des matériaux et comportement à l'imprégnation 2. Problèmes de mise en œuvre constatés : absorption de la résine, effilochage des fibres, durée de travail 3. Qualité visuelle du stratifié : bulles, zones sèches, plis 4. Importance des procédés en circuit fermé pour certaines fibres naturelles 5. Discussion entre les apprenants : Quel processus était le plus simple ? Quels problèmes sont apparus ? 6. Remarque du formateur : résumé des avantages et des limites de chaque combinaison	RA : Les apprenants expérimentent les défis majeurs des matériaux durables et comparent leur mise en œuvre et leur qualité esthétique à celles des composites classiques. Ils prennent conscience de l'importance d'utiliser des techniques de mise en œuvre adaptées aux différentes fibres.	12	Comparaison par groupe et discussion

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Plan du cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
3.2 Stratégies de modernisation et de réparation des bateaux	3.2.1 Stratégies de modernisation : intégrer des matériaux durables dans les bateaux existants	Modernisation Remplacement des éléments non structurels : coque intérieure, douches, éviers, panneaux de plancher, cuisine.	RA : Les apprenants apprennent à analyser un stratifié endommagé, à le préparer pour le stratifier ou pour la réparation, et à mettre en œuvre la technique de réparation adaptée	15	Exercice pratique dirigé de réparation
	3.2.2 Techniques de réparation : méthodes de réparation standardisées pour les composites durables	1. Analyser les dégâts (ampleur, matériaux, mode de reconstruction) 2. Retrait des matériaux endommagés 3. Ponçage et dépolissage 4. Reconstruction		15	Exercice pratique dirigé de réparation

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Plan du cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
3.3 Réduction des déchets et efficacité dans les processus de fabrication des composites	3.3.1 Assurance qualité : suivi de l'efficacité des flux de matières et d'énergie	1. Qu'est-ce que l'assurance qualité (AQ) dans la fabrication de composites ? - Le rôle de l'AQ dans la durabilité et la résistance 2. Techniques simples d'assurance qualité pour la production de composites à petite échelle 3. Indicateurs relatifs aux flux de matières : - Consommation de résine par panneau, taux de chutes de fibres 4. Facteurs liés à l'énergie : - Durée du processus, appareils de chauffage, éclairage 5. Outils de documentation : - Fiches de suivi, inspection visuelle, registres photographiques 6. Réflexion : En quoi la documentation contribue-t-elle à améliorer l'efficacité et à réduire le gaspillage ?	RA : Les apprenants comprennent le concept d'assurance qualité dans la fabrication de composites. Ils sont capables de surveiller les indicateurs de base relatifs aux flux de matériaux et d'énergie pendant la fabrication et de réfléchir aux moyens d'améliorer l'efficacité.	5	Démonstration + activité dirigée en groupe
	3.3.2 Méthodes de réduction des déchets : découpe de précision, réutilisation des matériaux, consommables biosourcés	1. Quelles sont les causes du gaspillage dans les processus de fabrication de composites ? - Sources courantes : découpe, mélange excessif, outils jetables 2. Réutilisation des matériaux : - Idées pour utiliser les chutes : matériau de remplissage, support de moulage, pièces de prototype 3. Consommables d'origine biologique : - Gobelets de mélange recyclables, gants compostables, films de démoulage biodégradables (est-ce vraiment une option ?!) 4. Exemples de bonnes pratiques issus du secteur 5. Exercice en groupe : réduire au maximum le gaspillage lors de la planification et de la préparation d'une petite pièce 6. Réflexion : Qu'est-ce qui a bien fonctionné ? Où y a-t-il encore eu de la perte ?	RA : Les apprenants mettent en œuvre des stratégies de base pour réduire le gaspillage de matériaux dans la fabrication de composites. Ils planifient leur travail de manière à optimiser l'utilisation des matériaux, étudient les possibilités de réutilisation des chutes et identifient des alternatives durables en matière de consommables.	5	Exercice de planification en groupe et réflexion

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
3.1.1 Outils, matériel, préparation des surfaces	<i>Atelier – Identification des outils et étapes de la stratification</i>	Description : Les élèves travaillent en groupes. Chaque groupe reçoit plusieurs outils. Les principales étapes du laminage, ainsi que les points clés à surveiller et les consignes de sécurité, sont notés sur un tableau blanc. Les groupes doivent déterminer quelle étape et/ou quelle consigne de sécurité ou spécification correspond aux outils qui leur ont été attribués, et expliquer pourquoi. Équipement : Outils couramment utilisés pour la stratification ; tableau blanc ou équivalent Objectif : Les étudiants se familiarisent avec les outils de base et apprennent à les utiliser correctement, en tenant compte des consignes de sécurité et de l'efficacité pour la stratification. Résultats d'apprentissage : Les élèves savent quel outil utiliser, quand et comment, dans le respect des consignes de sécurité et dans le but d'obtenir un résultat optimal.
3.1.2 Structures textiles	<i>Comparaison d'échantillons</i>	Description : Les élèves reçoivent plusieurs échantillons de tissus composés de fibres différentes. Ils les comparent, notent leurs caractéristiques et leur comportement. Équipement : Divers échantillons de tissus Objectif : Les élèves se familiarisent avec les tissus à stratifier et apprennent à les reconnaître. Résultats d'apprentissage : Les élèves sont capables d'identifier les fibres qui composent chaque tissu et de comprendre les caractéristiques de ces derniers.
3.1.2 Structures textiles	<i>Comparaison de graphiques et association</i>	Description : Présentez des tableaux indiquant la résistance des tissus, sans en révéler l'identité. Les élèves doivent associer les tableaux aux échantillons de tissus en se basant sur les caractéristiques observées. Équipement : Tableaux et graphiques sur les propriétés des tissus Objectif : Amener les élèves à établir un lien entre les propriétés des tissus et leur comportement. Résultats d'apprentissage : Les étudiants peuvent choisir les tissus adaptés en fonction des exigences liées aux fonctions de la pièce finale.

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
3.1.3 Techniques de stratification	<i>Mise en œuvre pratique de la stratification</i>	Description : Chaque étudiant reçoit un moule et le matériel nécessaire (tissus, outils, EPI, résine, durcisseur, consommables) pour réaliser une stratification manuelle. Équipement : Moules, tissus, outils, résine, durcisseur, EPI, consommables. Objectif : Apprendre aux élèves à stratifier et à comprendre les étapes clés du processus. Résultats d'apprentissage : Les étudiants sont capables de réaliser correctement une stratification à l'aide d'un procédé ouvert de stratification manuelle dans un moule.
3.1.3 Techniques de stratification	<i>Infusion sous vide collaborative</i>	Description : Le formateur fait une démonstration d'un processus complet de stratification par infusion sous vide. Les étudiants participent ; les points clés sont observés et discutés. Équipement : Moules, tissus, résine, durcisseur, outils, EPI, consommables, pompe à vide. Objectif : Présenter l'infusion sous vide et mettre en évidence les points à surveiller. Résultats d'apprentissage : Les étudiants apprennent à réaliser une stratification par infusion sous vide.
3.1.4 Défis	<i>Comparaison de stratification (conventionnelle vs durable)</i>	Description : Les élèves réalisent la stratification d'une petite pièce à l'aide de matériaux conventionnels, puis à l'aide de matériaux durables, en notant leurs remarques et observations tout au long des deux processus. À la fin, ils comparent leurs expériences et présentent une synthèse. Équipement : Tissus, résine, durcisseur, outils, EPI, consommables. Objectif : Faire découvrir aux élèves ces deux types de matériaux de manière à ce qu'ils fassent leurs propres comparaisons. Résultats d'apprentissage : Les élèves comprennent les avantages et les inconvénients de chaque type de matériau.

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
3.2.1 Stratégies de modernisation	<i>Présentation collective sur les projets de rénovation</i>	Description : Les étudiants travaillent en groupes pour mener des recherches sur des projets de rénovation ou d'intégration de matériaux durables. Ils présentent une synthèse de 5 minutes en utilisant le format de leur choix (diapositives, affiche, vidéo, photos, etc.). Le formateur répartit les sujets afin d'éviter les doublons. Équipement : Ordinateurs, tableau blanc, projecteur. Objectif : Découvrez la rénovation (modernisation) et les défis qui y sont liés. Résultats d'apprentissage : Les élèves comprennent les méthodes de rénovation, identifient les difficultés, résument et dégagent les idées principales.
3.2.2 Techniques de réparation	<i>Jouer avec les papiers à poncer</i>	Description : Les élèves associent les papiers ou disques abrasifs (de différents types) aux étiquettes indiquant le grain et les classent par ordre croissant. Le formateur explique ensuite quel grain convient à quelle surface, à quel outil et à quelle tâche. Équipement : Papiers et disques abrasifs, étiquettes indiquant le grain. Objectif : Familiariser les élèves avec les grains et les différents types de papiers abrasifs et de disques abrasifs. Résultats d'apprentissage : Les élèves comprennent ce qu'est l'échelle de granularité et savent l'utiliser à bon escient.
3.2.2 Techniques de réparation	<i>Exercice pratique de réparation</i>	Description : Après la démonstration, chaque élève reçoit un échantillon stratifié ayant été volontairement endommagé. Il choisit une méthode de réparation, l'explique, obtient l'accord de l'enseignant, puis procède à la réparation. Équipement : Échantillons de composites endommagés, matières premières, résine, durcisseur, tissus, outils de stratification, EPI, consommables. Objectif : Développer la capacité des élèves à analyser les situations de réparation et à appliquer les méthodes appropriées. Résultats d'apprentissage : Les étudiants sont capables de réparer des composites endommagés et de choisir les stratégies de réparation appropriées.

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
3.3.1 L'Assurance Qualité dans les processus	<i>Réflexion à propos des techniques d'assurance qualité et planification</i>	Description : Par groupe, les étudiants analysent un processus donné et planifient la mise en œuvre de techniques et d'indicateurs d'assurance qualité. Ils élaborent un schéma présentant les étapes et les améliorations proposées. Équipement : Ordinateurs Objectif : Encourager l'adoption d'outils d'assurance qualité pour l'amélioration des processus. Résultats d'apprentissage : Les étudiants sont capables de mettre en œuvre et d'analyser des méthodes d'assurance qualité en fonction des caractéristiques des processus.
3.3.2 Réduction des déchets	<i>Brainstorming sur la gestion des déchets</i>	Description : Le formateur présente des exemples de gaspillage dans la construction navale, accompagnés de chiffres et de statistiques. Les élèves proposent des stratégies de réduction des déchets. La classe dresse une liste des propositions viables. Équipement : Tableau blanc Objectif : Sensibiliser le public aux déchets et à leur impact ; souligner l'importance d'une planification en amont. Résultats d'apprentissage : Les étudiants considèrent la gestion des déchets comme un élément essentiel de l'organisation d'une entreprise.
3.3.2 Réduction des déchets	<i>Planification des processus avec réduction intégrée des déchets</i>	Description : Les groupes reçoivent un produit fini. Ils élaborent un plan de travail complet, accompagné de descriptions expliquant comment réduire au minimum le gaspillage à chaque étape. Résultat : un dossier contenant un tableau des tâches et des fiches de travail détaillées. Équipement : Ordinateurs. Objectif : Encourager une planification globale des processus dont l'objectif principal est la réduction des déchets. Résultats d'apprentissage : Les étudiants intègrent les principes de réduction des déchets à toutes les étapes du processus.

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 3

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Introduction aux outils à main et au matériel utilisés pour la mise en œuvre des composites : - Ciseaux, rouleaux, tissus d'arrachage, pinceaux, sacs sous vide, pompes d'infusion 2. Principes de base de la préparation des surfaces : - Nettoyage, ponçage, dégraissage - Importance de la qualité de la surface pour l'adhérence 3. Consignes de sécurité relatives à la manipulation des outils et des produits chimiques 5. Indicateurs visuels pour les surfaces « prêtes à être stratifiées »	https://aerospaceengineeringblog.com/composite-manufacturing/ https://compositeslab.com/composites-manufacturing-processes/ https://aerospaceengineeringblog.com/composite-manufacturing/	Site internet proposant des articles qui fournissent des guides sur les différentes étapes de la construction de bateaux en matériaux composites (rédaction axée sur la pratique, quelques vidéos, explications claires et accessibles) Site internet proposant de brèves explications sur les procédés, les matériaux et les outils (bien organisé) Site internet présentant une description des processus à l'aide de schémas simples et clairs	Sites internet, accès libre
2. Types de tissus : - Tissus, non-tissés, nattes unidirectionnelles 3. Principales caractéristiques des textiles naturels : - Drapabilité, épaisseur, orientation des fibres, sensibilité à l'humidité 4. Influence de la structure textile sur les performances mécaniques et l'aptitude à la transformation 5. Domaines d'application dans la construction navale : panneaux d'intérieur, éléments non structurels, etc.	https://www.isomatex.com/tenron/ https://www.circular-structures.com/ https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/ecotechnil-in-des-solutions-a-base-de-fibres-naturelles-au-service-de-lindustrie-134081/ S. Maiti, M. R. Islam, M. A. Uddin, S. Afroj, S. J. Eichhorn, N. Karim, Sustainable Fiber-Reinforced Composites: A Review. Adv. Sustainable Syst. 2022, 6, 2200258. https://doi.org/10.1002/adsu.202200258 (https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adsu.202200258)	Deux sites internet de fournisseurs de tissus Article sur une entreprise qui fabrique des nattes à partir de diverses fibres naturelles et qui s'efforce également de développer une filière de recyclage Publication scientifique sur les composites durables	Site internet d'entreprises et article/publication scientifique, accès libre

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 3

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Introduction aux étapes de base de la stratification : - Découpe des fibres, mélange des résines, application de la résine au rouleau ou au pinceau 2. Caractéristiques des matériaux : - Manipulation des textiles en lin ou en basalte - Comportement à l'imprégnation des systèmes de résines d'origine biologique 3. Aspects clés du processus : - Durée de travail, déplacement des fibres, mise en place des couches 4. Conseils pratiques pour réussir la stratification	https://www.addcomposites.com/post/what-are-the-fundamental-steps-of-composites-manufacturing https://www.youtube.com/watch?v=tE6KDNvyTuU	Un guide clair, simple et axé sur la pratique concernant les composites, les défauts et les chocs, avec de nombreuses ramifications vers d'autres thèmes connexes et pertinents Vidéo sur la construction d'un canoë en fibre de lin et en balsa, mettant l'accent sur certaines étapes spécifiques	Blog et vidéo YouTube, accès libre
	https://www.youtube.com/watch?v=RrVy7jaSABM https://www.youtube.com/watch?v=AD98L9XICTU https://www.youtube.com/watch?v=Q09ZFVA6nR8	Présentation des techniques de plastification avec comparaisons Vidéo sur l'utilisation de la fibre de lin et de la méthode de stratification par infusion Vidéo sur la stratification de la fibre de verre (avec des informations sur les points essentiels (durée de l'ensemble du processus, etc.))	Vidéos YouTube (démonstrations), accès libre
Modernisation	https://www.imoca.org/en/news/news/lifting-the-lid-on-boat-build-impacts-for-a-more-sustainable-industry	Il ne s'agit pas exactement d'une modernisation, mais d'un rapport sur l'utilisation de matériaux durables dans un voilier de course (IMOCAs), accompagné d'une vidéo explicative	Articles sur la rénovation durable, accès libre

Unité 3 : Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 3

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
4. Reconstruction	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127523008614	Publication scientifique sur une nouvelle méthode potentielle de réparation des composites	Article scientifique, accès libre
1. Qu'est-ce que l'assurance qualité (AQ) dans la fabrication de composites ? - Le rôle de l'AQ dans la durabilité et la résistance 2. Techniques simples d'assurance qualité pour la production de composites à petite échelle	https://www.addcomposites.com/post/quality-assurance-and-quality-control-in-composites-manufacturing	Description des points à examiner dans le cadre de l'assurance qualité	Article de blog sur les méthodes d'assurance et de contrôle qualité (AQ/CQ) dans la fabrication de composites, accès libre
2. Réutilisation des matériaux : - Idées pour utiliser les chutes : matériau de remplissage, support de moulage, pièces de prototype 4. Exemples de bonnes pratiques issus du secteur	https://compositesuk.co.uk/industry-support/environmental/what-can-i-do-with-my-waste/	Liste non exhaustive de solutions pour les déchets composites et les chutes	Article spécialisé présentant les différentes options en matière de gestion des déchets et de recyclage, accès libre



Unité 4 :

Analyse du

Cycle de Vie et

Cas concrets



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
4.1 Évaluation de l'impact environnemental par l'ACV	4.1.1 Les bases de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV)	1. Introduction à l'analyse du cycle de vie (ACV) 2. Les catégories d'impact environnemental dans l'ACV 3. Appliquer l'ACV aux matériaux de la construction navale 4. Identification des points sensibles sur le plan environnemental tout au long du cycle de vie des produits 5. Utiliser l'ACV pour prendre des décisions éclairées en matière de conception et d'approvisionnement 6. L'ACV : un outil au service de la stratégie d'entreprise et de la	RA : "Définir ce qu'est une analyse du cycle de vie (ACV) et décrivez ses quatre phases principales. Identifier l'intérêt de recourir à l'ACV dans le secteur de la construction navale. Énumérer et décrire les principales catégories d'impacts environnementaux telles que définies dans la méthode PEF. Expliquer en quoi l'ACV facilite la prise de décision en permettant de comparer différentes options de produits ou de matériaux en fonction de leurs impacts tout au long de leur cycle de vie."	2	Enseignement en classe
	4.1.2 Empreinte environnementale : émissions de carbone, consommation d'énergie	1. Les émissions de carbone dans la construction navale 2. Consommation d'énergie tout au long du cycle de vie du bateau 3. Comparaison des matériaux à partir des données relatives au carbone et à l'énergie 4. Étude de cas : Recyclage des composites en fibre de verre 5. Utilisation des normes ISO et PEF dans l'ACV	RA : "Distinguer les émissions de carbone de la consommation d'énergie et expliquer leur rôle dans l'évaluation de l'impact environnemental. Identifier les sources courantes d'émissions de carbone et la consommation d'énergie dans la construction navale. Interpréter des données environnementales de base telles que les émissions en équivalent CO ₂ et la consommation d'énergie en mégajoules (MJ). Comparer l'empreinte environnementale de deux types de bateaux ou de configurations de matériaux à l'aide de données simplifiées."	3	Enseignement en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".
 Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Plan du cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultat d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
4.1 Évaluation de l'impact environnemental par l'ACV	4.1.3 Identification des points sensibles : principaux domaines clés en matière de matériaux, d'énergie et de déchets	1. Quels sont les points sensibles environnementaux dans l'analyse du cycle de vie (ACV) ? 2. Points sensibles liés aux matériaux dans la construction navale 3. La consommation d'énergie : un domaine d'impact crucial 4. Production de déchets et défis liés à la fin de vie 5. Stratégies pour réduire les impacts au niveau des points sensibles environnementaux 6. Étude de cas : Analyse des points sensibles issue de l'étude de l'ICOMIA sur la décarbonisation de la propulsion	RA : Définir ce qu'est un « point sensible » dans le contexte de l'analyse du cycle de vie. Identifier les points sensibles typiques liés aux matériaux, à l'énergie et aux déchets dans le cycle de vie dans le domaine de la construction navale. Expliquer en quoi l'analyse des points sensibles aide à hiérarchiser les améliorations en matière de durabilité. Interpréter les résultats d'études de cas concrets afin d'évaluer où se concentrent les impacts environnementaux.	3	Enseignement en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau « Instructions pour les activités ».

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau « Informations pour progresser ».

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Plan du cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
4.2 Faisabilité économique et financière	4.2.1 Analyse économique : comparaison des coûts entre matériaux durables et conventionnels	1. Facteurs de coût déterminants dans le choix des matériaux pour la construction navale 2. Répartition des coûts au long du cycle de vie : de l'achat à la fin de vie 3. Comparaison : propulsion électrique à batterie vs propulsion aux carburants renouvelables 4. Investissements ciblés en faveur du développement durable et efficacité économique 5. Au-delà du prix : incitations, image de marque et valeur à long terme 6. Prendre des décisions éclairées grâce à l'analyse coûts-avantages sur l'ensemble du cycle de vie	RA : Identifier les principaux éléments de coût liés au choix des matériaux (par exemple, coût initial, entretien, fin de vie). Comparer les implications économiques de l'utilisation de matériaux durables par rapport à celle de matériaux conventionnels. Appliquer un cadre de base d'analyse des coûts du cycle de vie pour évaluer les choix de matériaux. Comprendre comment les facteurs environnementaux et économiques peuvent s'influencer mutuellement pour éclairer des décisions en matière de matériaux.	1 ½	Enseignement en classe
	4.2.2 Retour sur investissement : avantages financiers des choix durables, à long terme	1. Comprendre le retour sur investissement dans la construction navale durable 2. Évaluation des avantages à long terme des matériaux durables 3. Facteurs économiques et stratégiques au-delà des coûts initiaux 4. Défis et incertitudes liés au calcul du retour sur investissement 5. Utilisation de l'ACV pour étayer les décisions d'investissement 6. Étude de cas : Retour sur investissement grâce au changement de matériaux dans un petit chantier naval	RA : Définir le retour sur investissement (ROI) et l'appliquer aux décisions en matière de conception durable. Décrire comment les matériaux durables peuvent générer des économies à long terme ou une valeur ajoutée. Identifier les avantages non financiers (par exemple, l'image de marque, l'attrait pour les clients, la conformité réglementaire) liés à la durabilité. Analyser une étude de cas afin de déterminer si le choix d'un autre matériau offre à la fois des avantages environnementaux et financiers.	1 ½	Enseignement en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Plan du cours



Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultat d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
4.3 Modèles économiques pour la durabilité dans la construction navale	4.3.1 Modèles économiques circulaires : économie linéaire vs économie circulaire dans la construction navale	1. Du linéaire au circulaire : repenser les systèmes de construction navale 2. Stratégies fondamentales de l'économie circulaire dans la conception des bateaux 3. Étude de cas : l'APER et le recyclage en circuit fermé des bateaux en France 4. Application de la méthode PEF au choix des matériaux circulaires 5. Le design circulaire en pratique : réutilisation et composants modulaires 6. Les modèles circulaires : une réponse stratégique à la réglementation et à la demande du marché	RA : Décrire la différence entre les modèles économiques linéaires et circulaires. Identifier les stratégies circulaires pertinentes pour la construction navale (par exemple, la modularité, les programmes de reprise, la réutilisation). Expliquer l'importance de la responsabilité tout au long du cycle de vie et des réglementations telles que la responsabilité élargie des producteurs (REP). Expliquer en quoi les modèles économiques circulaires peuvent réduire les déchets, diminuer les coûts et favoriser la compétitivité sur le marché.	1 ½	Enseignement en classe
	4.3.2 Conception en vue du démontage (Design for Disassembly = DfD) : optimisation de la récupération des matériaux en fin de vie	1. Qu'est-ce que la conception en vue du démontage (DfD) dans la construction navale ? 2. La conception axée sur le démontage en pratique : exemples de conception facilitant le démontage 3. Le DfD et son rôle dans la réglementation et les labels écologiques 4. Prévoir la fin de vie dès la phase de conception 5. Les avantages de la conception en vue du démontage (DfD) en matière de durabilité, de sécurité et de valeur de revente	RA : Expliquer ce que signifie la « conception en vue du démontage » (DfD) et pourquoi elle est importante. Énumérer les stratégies pratiques de DfD utilisées dans la conception et la construction navales. Décrire l'objectif et les éléments constitutifs d'un passeport des matériaux. Expliquer en quoi la DfD et le suivi des matériaux favorisent la recyclabilité, la sécurité et la conformité aux réglementations de l'UE.	1 ½	Enseignement en classe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau « Instructions pour les activités ».

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau « Informations pour progresser ».

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Instructions pour les activités



Sous-thème	Activité	Description
4.1.1 Les bases de l'ACV	<i>Stations d'exploration du cycle de vie</i> <i>Les élèves passent successivement par différents ateliers consacrés à des matériaux spécifiques (par exemple, la fibre de verre, le lin, l'aluminium). Ils identifient les principales phases du cycle de vie et les impacts environnementaux associés, en associant les matériaux aux catégories d'impact de la PEF.</i>	Description : Matching exercise on LCA terminology and phases; mini quiz on the four LCA stages; case-based question on burden shifting. Objectif : Introduce LCA methodology and help students recognise how materials influence life cycle impact. Résultats d'apprentissage : Les élèves sont capables d'expliquer les quatre étapes de l'analyse du cycle de vie, d'identifier les catégories d'impact et d'appliquer la démarche du cycle de vie pour comparer des matériaux.
4.1.2 L'empreinte environnementale	<i>Défi comparatif sur l'empreinte carbone</i> <i>Les équipes analysent deux profils de navires et évaluent les émissions de carbone et la consommation d'énergie. Elles examinent les compromis entre les systèmes de propulsion et les matériaux.</i>	Description : Calculs de MJ et de CO ₂ -eq (à partir de données simplifiées) ; comparaison écrite de deux matériaux ou types de carburant ; brève discussion en groupe sur les compromis entre énergie et environnement. Objectif : Aider les élèves à comprendre l'impact de la consommation d'énergie et des émissions sur l'empreinte environnementale à toutes les étapes du cycle de vie. Résultats d'apprentissage : Les élèves sont capables de définir l'empreinte carbone et la consommation d'énergie, d'interpréter des données environnementales et de comparer différentes configurations.
4.1.3 Points sensibles	<i>Jeu d'enquête sur les points sensibles</i> <i>Les étudiants reçoivent des aperçus de l'analyse du cycle de vie (ACV) qui mettent en évidence les impacts à chaque étape et pour chaque composant. Ils identifient les points sensibles et proposent des stratégies d'amélioration.</i>	Description : Fiche de travail sur l'identification des points sensibles ; présentation en petits groupes d'un cas concret de point sensible ; question facultative sur les catégories de points sensibles. Objectif : Développer la capacité à identifier et à analyser les points sensibles sur le plan environnemental et à hiérarchiser les interventions. Résultats d'apprentissage : Les élèves sont capables d'identifier les points sensibles en matière de matières premières, d'énergie et de déchets, et de proposer des améliorations.

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
4.2.1 Analyse économique	<i>Répartition d'un budget bateau Les élèves comparent la répartition des coûts entre les matériaux traditionnels et les matériaux durables. Ils analysent les coûts initiaux, d'entretien et d'élimination.</i>	Description : Fiche de calcul du coût du cycle de vie ; identifier trois facteurs de coût dans le cadre de la discussion ; brève explication écrite des compromis. Objectif : Montrer comment les considérations financières influencent le choix des matériaux et mettre en évidence le coût réel total (achat, entretien, usage, recyclage, démantèlement,...). Résultats d'apprentissage : Les élèves sont capables d'identifier les compromis économiques et d'étayer leurs décisions à l'aide d'une analyse des coûts.
4.2.2 Retour sur investissement (ROI)	<i>Jeu de rôles : Etude de cas – "Blue Horizon Boats" A l'aide de l'exemple de "Blue Horizon Boats", les élèves jouent les rôles de parties prenantes chargées d'évaluer le changement de matériau et son retour sur investissement.</i>	Description : Modèle de calcul du ROI ; présentation collective des points de vue des parties prenantes ; réflexion sur les avantages tangibles et intangibles. Objectif : Aider les élèves à évaluer le retour sur investissement dans des situations concrètes impliquant des matériaux durables. Résultats d'apprentissage : Les étudiants sont capables de calculer un retour sur investissement simplifié, d'identifier les avantages et de les présenter clairement.

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
4.3.1 Modèles économiques circulaires	<i>Atelier de recyclage circulaire</i> <i>Les élèves repensent la conception d'un élément linéaire d'un bateau (par exemple, une trappe ou un module de coque) afin de l'adapter aux principes de l'économie circulaire (réutilisation, recyclabilité, modularité).</i>	Description : Esquisse ou schéma par groupe ; explication écrite des principes circulaires appliqués ; commentaires des autres participants. Objectif : Amener les élèves à repenser l'industrie maritime à travers le prisme de l'économie circulaire. Résultats d'apprentissage : Les élèves sont capables d'expliquer les principes de l'économie circulaire et de repenser la conception des composants afin d'améliorer leur récupération, leur réutilisation et leur durabilité.
4.3.2 Conception en vue du démontage (DfD)	<i>Laboratoire de conception "DfD"</i> <i>Les élèves repensent un élément de bateau (trappe de rangement, module de pont, structure de banc) en appliquant les principes de la conception orientée vers le démontage (DfD). Ils réalisent des croquis ou des maquettes de la pièce repensée, identifient les éléments de fixation et expliquent les stratégies de séparation des matériaux.</i>	Description : Esquisse de conception annotée ; présentation en groupe ; explication écrite des améliorations apportées en fin de cycle de vie. Objectif : Présentation de la conception en vue du démontage et de la manière dont elle réduit l'impact environnemental en fin de vie des bateaux. Résultats d'apprentissage : Les élèves mettent en pratique les stratégies de la DfD (fixations, modularité, séparation) et montrent en quoi celles-ci favorisent le développement durable.

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 4

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
1. Introduction à l'analyse du cycle de vie (ACV) 2. Les catégories d'impact environnemental dans l'ACV	https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.html , https://www.iso.org/home.html , Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, ISO STANDARDS https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html https://www.iso.org/standard/37456.html https://propellingourfuture.com/EnvironmentalFootprintMethods - European Commission Life Cycle Assessment for the circular economy https://www.lifecycleinitiative.org/ https://www.marineshift360.org/ https://www.recyclermonbateau.fr/l-aper-association-pour-la-plaisance-eco-responsable/ https://europeanboatingindustry.eu/images/Reports/A144650-R20241613a-UHo-EuCIA%20final%20report%20-%20summary-signed.pdf?t=1728385417 GREC HANDBOOK https://europeanboatingindustry.eu/images/EU%20affairs/Roadmap-for-decarbonisation-vessels_Final.pdf	Site web officiel de la Commission et normes ISO	Documents techniques (ISO), Guide (Grec Handbook), Rapport (Feuille de route pour la décarbonisation du secteur européen des bateaux de plaisance maritimes), sites internet en accès libre, seules les normes ISO sont payantes
4. Étude de cas : Recyclage des composites en fibre de verre 5. Utilisation des normes ISO et PEF dans l'ACV	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://glassfibreeurope.eu/resource-type/report-study/ ,	Études sur la décarbonisation et la méthodologie de l'analyse du cycle de vie	Accès libre, site internet

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 4

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
4. Production de déchets et défis liés à la fin de vie 5. Stratégies pour réduire les impacts au niveau des points sensibles environnementaux 6. Étude de cas : Analyse des points sensibles issue de l'étude de l'ICOMIA sur la décarbonisation de la propulsion	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, ISO standards, https://glassfibreeurope.eu/wp-content/uploads/2023/02/GFE_LCA-report-2023-February-2023.pdf	Études sur la décarbonisation et la méthodologie de l'analyse du cycle de vie	Accès libre, site internet
	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability		
5. Au-delà du prix : incitations, image de marque et valeur à long terme	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method		

Unité 4 : Analyse du Cycle de Vie et Cas concrets / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 4

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence	Notes
3. Étude de cas : l'APER et le recyclage en circuit fermé des bateaux en France 4. Application de la méthode PEF au choix des matériaux circulaires	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://www.recyclermonbateau.fr/, https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html	Études sur la décarbonisation et la méthodologie de l'analyse du cycle de vie	Accès libre, site internet
4. Prévoir la fin de vie dès la phase de conception 5. Les avantages de la conception en vue du démontage (DfD) en matière de durabilité, de sécurité et de valeur de revente	ICOMIA - RICARDO study, Propelling our future, Blue Boat Horizon LCA project, EC PEF method, https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability		



Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis



Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Plan du cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
5.1 Demande de l'industrie en matière d'expertise dans la construction durable de bateaux	5.1.1 Tour d'horizon industriel : tendances du marché du travail, demande de solutions écologiques	Découvrir le contexte actuel du secteur nautique sous l'angle du développement durable, et identifier les tendances qui façonnent l'évolution du marché du travail ainsi que la demande en nouvelles solutions techniques, en nouveaux matériaux et en nouveaux procédés.	RA : Comprendre la transformation structurelle du secteur vers la durabilité, ainsi que ses moteurs et ses obstacles. Renforcer les compétences des apprenants en matière de travail d'équipe, de réflexion analytique et de prise de parole en public, afin de les aider dans leur future carrière.	2 ½	Cours magistraux / enseignement direct, ateliers / débats
	5.1.2 Parcours professionnels : postes dans le design, l'ingénierie, la production, la vente, le marketing	Découvrir les parcours professionnels dans le secteur nautique durable, comprendre les nouveaux métiers, l'évolution des profils traditionnels et les compétences requises pour s'épanouir dans un environnement technique, interconnecté et respectueux de l'environnement.	RA : Donner un aperçu complet des principaux profils professionnels ainsi que des aptitudes et compétences requises pour pouvoir faire carrière dans ces types de postes.	2 ½	Apprentissage en classe / enseignement direct, travail en groupe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Plan du cours

Module	Sous-thème	Répartition par sous-thème	Résultats d'apprentissage (RA)	Durée (hrs)	Méthode(s) d'enseignement et de formation
5.2 Parcours professionnels et formation dans les industries maritimes durables	5.2.1 Compétences clés : compétences techniques et relationnelles nécessaires pour réussir	Présentation des compétences clés en matière de construction navale durable ; identification des défis et des opportunités liés à une carrière dans ce secteur. Mise en correspondance des compétences transversales pertinentes pour la construction navale durable et réalisation d'exercices de planification de carrière.	RA : Identifier les compétences techniques et relationnelles interdisciplinaires, évaluer les lacunes actuelles en matière de formation, de parcours professionnels et de pratiques du secteur.	2 ½	Enseignement en classe/instructions directes, ateliers, discussions de groupe
	5.2.4 Développement professionnel : formation, certifications, opportunités de réseautage	Évaluation des lacunes en matière de formation et des pratiques actuelles du secteur ; identification de mesures et de méthodes concrètes pour faire progresser les carrières. Découverte des certifications, des formations, des événements de réseautage pertinents et des portails d'emploi du secteur afin d'améliorer l'employabilité.	RA : Découvrir des stratégies concrètes pour améliorer son employabilité et faire progresser sa carrière. Élaborer des plans de carrière clairs et personnalisés, en identifiant les compétences et aptitudes pertinentes. Recenser et dresser la liste des formations et événements pertinents, tant au niveau local qu'international.	2 ½	Enseignement en classe/instructions directes, ateliers, discussions de groupe

Remarque 1 : Le texte en gras dans la colonne « Sous-thème » indique que des informations plus détaillées et les activités connexes pour le sous-thème concerné sont fournies dans le tableau "Instructions pour les activités".

Remarque 2 : Le texte en gras dans la colonne « Répartition par sous-thème » indique la disponibilité d'informations de niveau supérieur (avancées), qui sont présentées dans le tableau "Informations pour progresser".

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
5.1.1 Tour d'horizon industriel	1: Débat structuré — Le secteur nautique est-il prêt pour une transition écologique accélérée ?	Description : Les élèves participent à un débat structuré visant à déterminer si le secteur maritime est prêt pour une transition écologique accélérée. Répartis en deux équipes — « pour » (prêt) et « contre » (pas prêt) —, ils analysent et présentent des arguments fondés sur des facteurs environnementaux, économiques, technologiques et réglementaires. Le débat mettra en évidence les principaux moteurs (par exemple, l'innovation, le soutien politique, la demande des consommateurs) et les obstacles (par exemple, les coûts élevés, le manque d'infrastructures, la résistance au changement). Une brève réflexion suivra afin de consolider les acquis et d'encourager la réflexion critique sur la durabilité dans le monde maritime. Objectifs du débat : 1. Développer l'esprit critique en analysant des enjeux complexes liés au développement durable. 2. Développer ses capacités d'argumentation grâce à un raisonnement fondé sur des preuves. 3. Sensibiliser le public à l'impact environnemental des activités maritimes et à l'urgence de la transition écologique. 4. Encouragez la collaboration et le dialogue respectueux en écoutant les points de vue divergents et en y répondant de manière constructive. 5. Encourager la réflexion systémique en identifiant les facteurs et les obstacles interdépendants. Résultats d'apprentissage attendus : -Les élèves acquièrent une meilleure compréhension des défis et des opportunités liés au développement durable dans le secteur nautique. -Les élèves sont capables d'identifier et d'expliquer les principaux facteurs favorables et les obstacles à la transition écologique. -Amélioration des compétences en communication et en travail d'équipe grâce à des débats structurés. -Accroître la motivation pour rechercher des solutions durables.

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
5.1.1 Tour d'horizon industriel	2: La construction navale durable à travers le monde – Challenge de recherche	Description : Les élèves travaillent en équipes pour étudier les différentes approches adoptées par divers pays en matière de construction navale durable. Chaque équipe choisira ou se verra attribuer un pays et examinera ses pratiques, ses innovations, les matériaux utilisés, la réglementation en vigueur et les tendances du secteur en matière de construction navale respectueuse de l'environnement. Les résultats seront présentés sous forme visuelle ou orale (affiche, diaporama, vidéo). Objectifs : -Encourager la recherche et le développement des compétences en matière d'analyse. -Approfondir la compréhension des matériaux et des technologies durables. -Mettre en évidence les perspectives mondiales et les différences en matière de défis environnementaux dans le secteur maritime. -Encourager le travail d'équipe et la gestion de projet. -Développer ses compétences en matière de présentation et de communication. Résultats d'apprentissage attendus : -Les élèves décrivent les pratiques de construction navale durable dans un pays, au moins. -Les étudiants prennent conscience des inégalités mondiales et acquièrent des compétences en matière de leadership dans le domaine de la durabilité maritime. -Amélioration des compétences en matière de collaboration et d'organisation. -Amélioration des compétences en matière de présentation. -Les étudiants réfléchissent à la manière dont les meilleures pratiques mondiales peuvent être mises en œuvre au niveau local.

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
5.1.2 Parcours professionnels	<i>1: Cartographie des parcours professionnels (travail en groupe)</i>	Description : Les élèves reçoivent des fiches présentant différents métiers liés à la construction navale durable. Ils doivent les placer dans un tableau mettant en correspondance chaque métier avec : - les compétences techniques requises - les compétences non techniques/transversales - la formation recommandée - l'environnement de travail type (chantier naval, fournisseur, cabinet de conseil, etc.)
5.1.2 Parcours professionnels	<i>2: Créez votre profil professionnel</i>	Description : Les élèves découvrent différents profils professionnels dans le domaine de la construction navale durable en élaborant un profil complet. Chaque groupe se voit attribuer un rôle professionnel, tel que : - Ingénieur naval (matériaux durables) - Technicien de fabrication en chantier naval - Responsable des achats - Consultant en environnement - Concepteur de bateaux éco-performants - Responsable qualité et certification - Formateur en formation professionnelle dans le domaine de la construction navale durable Les élèves créent un profil professionnel, incluant : -Nom, âge, expérience -Background -Motivations et challenges -Compétences techniques -Compétences relationnelles -Formation -Environnement de travail type -Contribution au développement durable Présentation : Les groupes font une présentation de 5 minutes montrant comment le profil s'intègre dans la chaîne de valeur de la construction navale durable.

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Instructions pour les activités

Sous-thème	Activité	Description
5.2.1 Compétences clés	<i>Concevoir des composants de yachts respectueux de l'environnement à partir de bio-composites</i> <i>Présentation de l'activité : Les équipes élaborent une conception théorique d'un composant de coque de yacht respectueux de l'environnement à partir de biocomposites (fibre de lin, bio-résine). L'activité porte notamment sur le choix des matériaux, la conception assistée par ordinateur (CAO), les principes fondamentaux de l'analyse du cycle de vie (ACV), la réduction des déchets et la conception d'un système de filtration.</i>	Public cible : Étudiants en formation professionnelle spécialisés dans les technologies de pointe et les matériaux durables dans le secteur de la construction navale. Objectifs d'apprentissage : Comprendre comment les compétences techniques s'intègrent dans la conception de yachts, mettre en œuvre la CAO, l'analyse du cycle de vie (ACV) et l'optimisation des matériaux, prendre conscience des enjeux liés au développement durable, et collaborer en équipe pour résoudre des problèmes de conception. Pas à pas : 1. Constitution de l'équipe et répartition des rôles. 2. Présentation du scénario. 3. Phase de conception (choix des matériaux, conception assistée par ordinateur, analyse du cycle de vie, réduction des déchets, système de filtration). 4. Présentation et discussion. Critères d'évaluation (optionnel) : Clareté, faisabilité, discipline intégration, créativité, cohésion et travail en équipe. Discussion Questions : Pourquoi les biocomposites ? Quels sont les enjeux environnementaux liés à la construction traditionnelle de yachts ? Quel est le rôle de la CAO et de l'ACV ? Quels sont les compromis liés au remplacement des matériaux traditionnels ?
5.2.2 Développement professionnel	<i>Planification de carrière</i>	Description : Les élèves élaborent leur plan de carrière pour se lancer dans la construction navale durable. À l'aide d'une grande feuille de papier : - Étapes à court terme (compétences, matières) - Objectifs à moyen terme (stages, formations, certifications) - Vision à long terme (carrières spécifiques dans le domaine des yachts écologiques) Les élèves identifient aussi : Acteurs clés du secteur (entreprises, ONG), Événements (salons, ateliers, conférences), Réseaux (LinkedIn, réseaux d'anciens élèves, mentors) Résultat : Les étudiants présentent leur feuille de route et reçoivent des commentaires.

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 5



Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence
Pacte Vert UE,	https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en	Sites internet officiel de l'UE consacré au Pacte vert, au programme «Fit for 55» et au règlement sur les transferts de déchets, présentant les points clés, les buts et les objectifs dans différentes langues
Programme "Fit for 55"	https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/	
Réglementation sur le transport des déchets (UE)	https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-shipments_en	Informations détaillées à propos de NextGenEU funds
NextGenEU funds	https://next-generation-eu.europa.eu/index_en	Article présentant quatre études de cas fructueuses, illustrant la mise en œuvre de matériaux et de pratiques durables, et partageant des idées et des expériences. Ces quatre entreprises sont : Beneteau, l'Ecoracer d'Eco Yachts, Windelo, Bestevaer et Vaan. Une étude approfondie sur les matériaux de pointe, leurs applications, les compétences et connaissances requises, les obstacles rencontrés et les perspectives d'avenir, réalisée à partir d'une vaste série d'entretiens menés auprès de plus de 120 experts. L'Ocean Race a organisé, depuis 2017, quatre ateliers consacrés à l'innovation en matière de construction navale durable, réunissant des leaders du secteur et des équipes de course afin d'élaborer conjointement une feuille de route ambitieuse à l'horizon 2030, axée sur les matériaux, la réduction des déchets, l'efficacité énergétique et les leviers tels que la réglementation et l'analyse du cycle de vie, dans le but de réduire de 50 % les émissions de gaz à effet de serre. Ces ateliers ont abouti à l'élaboration d'une feuille de route sectorielle détaillée à l'horizon 2030, ainsi qu'à des recommandations pratiques et à des rapports mettant en avant les mesures immédiates que les constructeurs de bateaux peuvent prendre dès maintenant pour accélérer la transition vers un avenir plus durable.
3 pays (France, Allemagne, Pays-Bas) ouvrent la voie	https://www.yacht.de/en/shipyards/boatbuilding-ecolution-these-shipyards-are-working-on-sustainable-concepts/	
Présentation détaillée des obstacles actuels à la durabilité	https://teconaut.eu/en/downloads/ (New deep tech skills document)	La présentation de l'étude de cas de Beneteau met en lumière les efforts sérieux et axés sur la technologie que l'entreprise déploie en matière de développement durable : développement d'écorsines telles que l'Elium®, augmentation de l'utilisation de fibres naturelles, déploiement de systèmes de propulsion électriques ou hybrides, et mise en œuvre d'analyses du cycle de vie et de programmes de recyclage, tout en trouvant le juste équilibre entre innovation, acceptation par les clients et coûts. (+ interview vidéo)
Cet article sur l'Ocean Race offre un aperçu plus général des obstacles et de la voie à suivre	https://www.theoceanrace.com/en/racing-with-purpose/sustainable-sports-and-innovation/sustainable-boat-building	
Entretien sur la transition écologique dans le secteur – Étude de cas : Beneteau	https://no-frills-sailing.com/sustainability-boatbuilding-beneteau-erwan-faoucher-interview/	
Étude de cas de Beneteau en vidéo	https://www.youtube.com/watch?v=ynGKEYIYXQo	

Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 5



Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence
Métiers des chantiers navals et de la construction navale (en général)	https://www.marineinsight.com/careers-2/different-jobs-in-a-shipyard-shipbuilding-industry/ https://no-frills-sailing.com/sustainability-boatbuilding-beneteau-erwan-faoucher-interview/	Présentation des postes les plus courants dans le secteur de la construction navale, tels que soudeurs, métallurgistes, plombiers, électriciens, menuisiers, gréeurs, contrôleurs qualité, etc.
Vidéo de la construction d'un bateau en bois Nouvelles technologies au sein de la construction navale conventionnelle Comment construire un dériveur traditionnel en bois - vidéo Construction d'un voilier durable - vidéo	https://www.youtube.com/watch?v=cXkBA-h0IIU https://www.youtube.com/watch?v=YbpcJiikP44 https://www.youtube.com/watch?v=xiE0n9lhk4g https://www.youtube.com/watch?v=De8E4YS6nNM	De courtes vidéos présentant les techniques traditionnelles de construction navale, ainsi que les compétences et aptitudes nécessaires pour travailler le bois et préparer un dériveur ou un voilier.

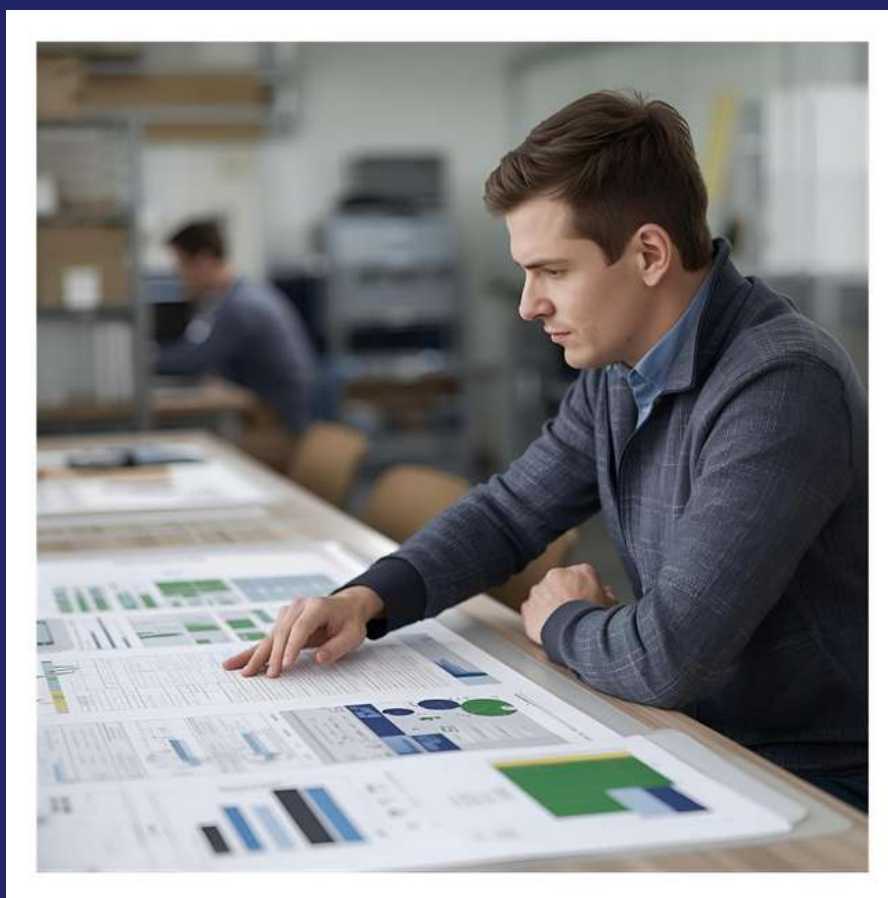
Unité 5 : Planification de carrière, opportunités et défis / Informations pour progresser pour la répartition par sous-thème de l'Unité 5

Sujet pour la progression	Liens de référence	Topo sur le contenu de référence
Compétences requises dans le secteur, état actuel des programmes d'études et améliorations nécessaires	https://teconaut.eu/en/downloads/	Rapport de recherche sur l'évaluation des programmes d'études, lignes directrices pour l'identification et l'évaluation des compétences, nouvel ensemble de compétences en technologies de pointe
Vidéo de présentation sur la construction d'une carrière	https://www.youtube.com/watch?v=g34Vk5ehGHY	Présentation d'offres d'emploi dans le secteur de la construction navale, d'entretiens avec des experts et d'études de cas.
Liste des événements britanniques et internationaux destinés aux constructeurs de bateaux et aux chantiers navals, ainsi que d'excellentes occasions de nouer des contacts	https://marineindustrynews.co.uk/marine-industry-events/	Une liste exhaustive des salons nautiques, foires et expositions au Royaume-Uni et à l'étranger pour rechercher un emploi, nouer des contacts et s'informer sur l'innovation et le développement durable.
Conseils pour développer son réseau	https://www.youtube.com/watch?v=OVf5c7NthSw	Les conseils de professionnels pour maîtriser l'art du réseautage, faire bonne impression et la faire durer.
Groupe LinkedIn « Metstrade Young Professionals »	https://www.linkedin.com/groups/12717817/	Groupe privé sur LinkedIn destiné aux jeunes professionnels de la construction navale ou aux travailleurs du secteur, pour échanger, apprendre et nouer des contacts.
Occasions de réseautage, préparation à des événements internationaux, exemples de réussite	https://fastercapital.com/content/Boating---Yachting-Networking-Event-Navigating-Success--How-Boating-and-Yachting-Networking-Events-Can-Boost-Your-Career.html	L'importance du réseautage, notamment dans le secteur de la construction navale : quels sont ses avantages, quels sont les exemples de réussite, comment se préparer aux salons nautiques internationaux, et quelles sont les tendances et innovations à surveiller.



4

Conseils de Formation



Co-funded by
the European Union

ERASMUS-EDU-2023-PI-ALL-INNO

4. Conseils de Formation

Cette section fournit des conseils pratiques et axés sur la mise en œuvre, aux formateurs chargés de dispenser la formation TEcoNaut.

L'objectif est de les aider à :

- Appliquer les méthodes d'enseignement et d'apprentissage recommandées
- Adapter les approches pédagogiques à différents contextes éducatifs ou opérationnels
- Favoriser des expériences d'apprentissage interactives et efficaces
- Veiller à ce que les acquis d'apprentissage visés, en particulier ceux liés à la construction navale durable, soient atteints de manière cohérente dans tous les environnements de formation.

Les sections 4.1 et 4.2 présentent l'approche de formation et des conseils destinés aux formateurs. La section 4.1 offre un aperçu des méthodes d'enseignement sélectionnées et complémentaires, tandis que la section 4.2 propose des conseils pratiques pour favoriser une prestation efficace, centrée sur l'apprenant et axée sur les compétences de la formation TEcoNaut. Grâce à ces conseils, les formateurs sont en mesure de dispenser un enseignement de haute qualité qui reflète l'importance accordée par le programme à l'innovation, à la durabilité et au développement des compétences pratiques.

4.1 Approche Pédagogique et Accompagnement

Conseils à l'intention des formateurs

Lorsqu'ils préparent et dispensent leurs cours, les formateurs doivent :

- **Choisir des méthodes pédagogiques adaptées** conformément à la section 4.1, en tenant compte des acquis d'apprentissage visés décrits dans les tableaux de chaque module de la section 3, des ressources disponibles et de l'expérience préalable de l'apprenant.
- **Équilibrer théorie et pratique** afin de s'assurer que chaque concept est expliqué et mis en pratique, de manière à ce que les apprenants acquièrent une compréhension concrète.
- **Favoriser le retour d'apprentissage et la réflexion** après chaque séance, afin de consolider les acquis et d'encourager l'auto-évaluation.
- **Adapter les méthodes au format de diffusion** : en présentiel, en ligne ou en mode hybride, tout en veillant à l'inclusivité et à l'engagement (voir la section 4.1 : « Synthèse des méthodes » pour des conseils détaillés).

Présentation des méthodes retenues

TEcoNaut s'appuie sur une combinaison de cinq approches pédagogiques complémentaires, qui constituent le pilier pédagogique du programme. Ces méthodes sont conçues pour garantir que la formation reste **interactive, axées sur les compétences et étroitement adaptées aux réalités du monde du travail** :

1. **Apprentissage pratique** – Une participation active grâce à des exercices pratiques qui permettent aux apprenants d'effectuer des tâches réelles ou simulées et de mettre directement en application les concepts enseignés.
2. **Apprentissage en classe** – Des sessions structurées, animées par un formateur, qui présentent les fondements théoriques et offrent des occasions de discussion guidée.
3. **Formation en ligne** – Activités en ligne ou à suivre à son propre rythme, offrant une grande flexibilité et l'accès à des ressources pédagogiques numériques.
4. **Apprentissage par l'expérience** – Apprendre en réfléchissant à des expériences personnelles ou collectives, en établissant un lien entre des situations concrètes et de nouvelles connaissances.
5. **Apprentissage par projet** – Une réflexion en équipe sur des problèmes concrets qui nécessitent de combiner théorie et pratique pour aboutir à des résultats tangibles.

Ensemble, ces méthodes permettent aux formateurs de dispenser **des expériences d'apprentissage captivantes et efficaces**, favoriser le développement des compétences techniques et celles relatives à la durabilité, indispensables au secteur de la construction navale.

Méthodes complémentaires additionnelles

Les formateurs peuvent adapter avec souplesse les approches suivantes en fonction des différents objectifs pédagogiques, des profils des participants ou des modes de formation :

- **Apprentissage hybride**, combinant l'enseignement en ligne et en présentiel afin de concilier flexibilité et interaction.
- **Ateliers**, mettant l'accent sur la pratique concrète, entre pairs, au sein de petits groupes.
- **Discussions de groupe et apprentissage collaboratif**, encourageant le travail d'équipe et la résolution collective des problèmes.
- **Enseignement direct**, brèves interventions théoriques ou démonstrations organisées avant les séances pratiques.
- **Approche de la classe inversée**, en demandant aux élèves de faire des travaux préparatoires en autonomie afin que le temps passé en classe soit consacré à la mise en pratique.
- **Apprentissage par le jeu**, intégrer des éléments ludiques ou compétitifs pour renforcer la motivation.
- **Apprentissage par scénarios et par simulation / Jeux de rôle**, permettant aux apprenants de s'exercer en toute sécurité sur des cas concrets.
- **Apprentissage par problèmes (APP)**, où les apprenants travaillent en collaboration pour résoudre des problèmes concrets et ouverts, sous la supervision du formateur.

Ces méthodes supplémentaires offrent aux formateurs **des outils flexibles leur permettant d'adapter la formation** à différents contextes, ce qui renforce l'implication des apprenants et l'efficacité de la formation.

Méthodes de synthèse

Les méthodes de formation peuvent être **combinées de manière stratégique** afin d'améliorer les résultats d'apprentissage. Par exemple :

- **Rotation des postes et formation polyvalente** – Faire découvrir aux apprenants différentes fonctions afin d'élargir leur expérience pratique.
- **Projets collaboratifs accompagnés de séances de résolution de problèmes** – Allier le travail d'équipe à l'innovation, en encourageant la mise en pratique des connaissances pour relever les défis du monde réel.

Les formateurs sont encouragés à recourir à des combinaisons similaires pour **renforcer le lien entre la compréhension théorique et la mise en pratique**, en adaptant leurs approches aux besoins spécifiques des apprenants et au contexte de formation.



4.2 Conseils Pratiques pour les Formateurs



Cette sous-section propose des recommandations pratiques destinées à aider les formateurs à planifier et à animer efficacement les sessions TEcoNaut. Elle a pour objectif de favoriser un enseignement de qualité, de renforcer l'implication des apprenants et de promouvoir une mise en œuvre cohérente de la formation.

Avant la Séance – Préparation

- Définir clairement les objectifs d'apprentissage. Déterminer ce que les participants devraient être capables de faire à la fin du cours, plutôt que de se concentrer uniquement sur les connaissances théoriques.
- Préparer le matériel à l'avance. Vérifier que les outils, les échantillons et les fichiers numériques fonctionnent correctement et sont disponibles.
- Aménager l'espace d'apprentissage. Disposer les sièges et le matériel de manière à favoriser la participation et à garantir la sécurité.
- Choisir et combiner les méthodes de manière réfléchie. Déterminer quelles approches de la section 4.1 permettront le mieux d'atteindre les résultats escomptés.
- Créer une ambiance positive. Commencer par une brève introduction ou une question qui relie le sujet à des situations professionnelles concrètes.



Pendant la Séance – Enseignement



- Encourager la participation active. Utiliser des questions, de brèves discussions et des exercices pratiques pour maintenir l'intérêt des apprenants.
- Répartir les responsabilités. Inviter les participants à présenter les procédures ou à résumer les points essentiels.
- Alternier théorie et pratique. Proposer des explications concises suivies d'activités interactives ou pratiques.
- Utiliser des supports visuels et concrets. Illustrer les explications à l'aide d'exemples concrets, de schémas ou de courtes vidéos pour faciliter la compréhension.
- Stimuler la créativité. Dans le cadre d'activités axées sur des projets ou des problèmes, récompenser les solutions innovantes et la collaboration.

Après la Séance – Réflexion et Suivi

- Organiser un bref débriefing. Discuter de ce que les participants ont appris et de la manière dont ils peuvent mettre ces connaissances en pratique dans leur travail.
- Recueillir rapidement des retours d'expérience. Utiliser de brèves évaluations écrites ou orales pour identifier les points forts et les axes d'amélioration.
- Résumer et établir des liens. Passer en revue les points essentiels et mettre en évidence les liens avec les modules à venir.
- Consigner des exemples concrets. Conserver des photos ou des notes sur les activités qui pourront être réutilisées ou partagées lors de sessions ultérieures.

Diffusion Numérique et Hybride

- Tester le matériel à l'avance. Vérifier que les équipements audio, vidéo et de présentation fonctionnent correctement. Voir la section 5, « Matériel de formation ».
- Veiller à maintenir l'interaction. Alternier entre de courtes présentations et des activités pour les participants afin d'éviter la fatigue liée à l'écran.
- Encourager la collaboration en ligne. Utiliser des exercices en groupe ou des documents partagés pour favoriser le travail d'équipe.
- Mettre à disposition des ressources permettant à chacun d'avancer à son rythme. Proposer des enregistrements ou des supports numériques aux apprenants qui ont besoin de réviser davantage.



Enseignement durable et inclusif

- Donner l'exemple en matière de développement durable. Réutiliser le matériel de démonstration et réduire autant que possible les documents imprimés en privilégiant les supports numériques.
- Veiller à ce que le contenu soit accessible à tous. Adapter les explications et le rythme de la formation en fonction des différents niveaux d'expérience.
- Encourager une participation respectueuse. Créer un environnement dans lequel tous les apprenants se sentent à l'aise pour s'exprimer.
- Mettre l'accent sur la pertinence. Utiliser des exemples issus de différents secteurs maritimes afin de vous adapter aux parcours variés des apprenants.

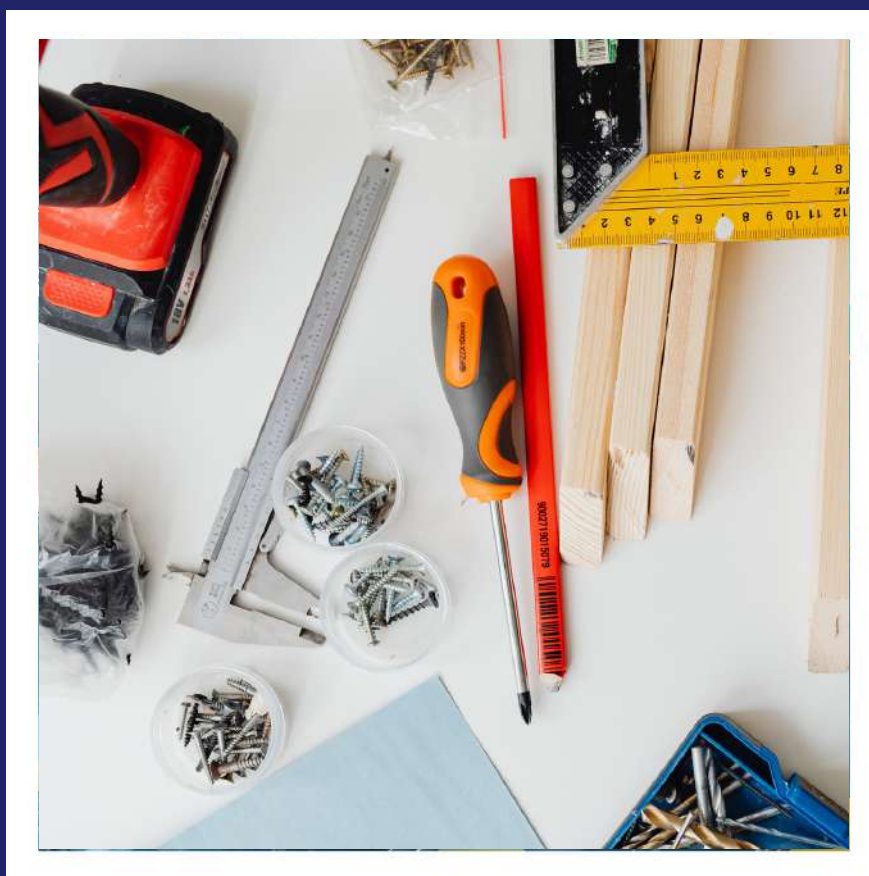


Ces recommandations constituent davantage une liste de contrôle flexible qu'une procédure figée. Les enseignants et formateurs sont invités à les adapter à l'environnement d'apprentissage spécifique, aux ressources disponibles et aux besoins des participants, en veillant à ce que chaque session TEcoNaut reste axée sur l'expérience, inclusive et en phase avec les pratiques durables.



5

Liste du Matériel et de l'Équipement



5. Liste du Matériel et de l'Équipement



Pour être efficace, l'enseignement dispensé dans les centres de formation professionnelle repose sur du matériel pédagogique bien choisi et axé sur la pratique, qui permet aux apprenants d'observer, de manipuler, de comparer et de mettre en œuvre les matériaux et les procédés utilisés dans des environnements de production réels. Le matériel décrit dans cette section favorise une approche axée sur la pratique, aidant les étudiants à comprendre les propriétés, les applications et les défis liés au traitement des matériaux composites durables. En combinant des échantillons physiques, des supports visuels, des fiches de travail et des outils pratiques guidés, les formateurs peuvent faire le lien entre la théorie et la pratique et préparer les apprenants aux tâches de construction navale durable.

Unité 2 - Matériaux durables, propriétés et performances

Sous-thème 2.1.1 : Propriétés des Matériaux : Caractéristiques et Applications

Le matériel pédagogique consacré à ce sujet vise à permettre aux apprenants de comparer et de comprendre les différents matériaux couramment utilisés dans les composites durables. Des échantillons de matériaux tels que le lin, le basalte, le PET recyclé (rPET) et la fibre de verre doivent être mis à disposition sous forme de petits morceaux faciles à manipuler, afin que les apprenants puissent en examiner la texture, la souplesse, la structure des fibres et l'aspect de la surface.

Les tableaux comparatifs ou les documents d'information sur les propriétés des matériaux favorisent un apprentissage structuré en résumant visuellement leurs caractéristiques clés, telles que la rigidité, le poids, le comportement face à l'humidité, la recyclabilité et les cas d'utilisation courants. Des présentations PowerPoint ou des schémas au tableau blanc peuvent être utilisés pour expliquer des concepts tels que la résistance à la traction ou l'orientation des fibres, tandis que des images de composants réels de bateaux aident les apprenants à faire le lien entre les propriétés abstraites des matériaux et leurs applications pratiques dans les coques, les ponts, les intérieurs ou les structures secondaires.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Échantillons de matériaux (par exemple, lin, basalte, rPET, fibre de verre)
- Tableaux comparatifs ou documents d'information sur les propriétés
- Supports visuels PowerPoint ou tableau blanc
- Images de composants de bateaux en contexte réel

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



Roche volcanique - poudre de basalte



Roche volcanique - pellets

Sous-thème 2.2.1 : Matières premières et composants durables dans les composites

Dans ce contexte, des échantillons ou des petits paquets de fibres clairement étiquetés permettent aux apprenants de distinguer les différentes catégories de matières premières. Les étiquettes doivent indiquer le type de fibre ainsi que des informations de base sur la durabilité. Un tableau comparatif des fibres techniques et non techniques aide les apprenants à visualiser les plages de performances et les limites de ces fibres.

Les fiches techniques succinctes sur les fibres fournissent des informations de référence rapides, tandis qu'une fiche d'exercices ou un exercice de couper-coller permet de renforcer l'apprentissage en demandant aux élèves d'associer les types de fibres à leurs propriétés ou à leurs applications. Des images illustrant l'utilisation de ces fibres dans la fabrication de composants pour la construction navale soulignent encore davantage leur pertinence dans la production moderne et durable.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Cartes d'échantillons de fibres ou vrais échantillons (étiquetés)
- Tableau comparatif (fibres techniques et non techniques)
- Fiches techniques sur la fibre (courtes, illustrées)
- Exercice d'association de fiches techniques ou exercice de couper-coller
- Exemples d'utilisation de la fibre de verre dans la construction navale

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



Fibres volcaniques (coupées)



Fibres volcaniques

Sous-thème 2.2.2 : Textiles : tissus dans les composites

L'enseignement des architectures textiles nécessite du matériel pédagogique visuel. Des échantillons de textiles tissés, non tissés et unidirectionnels (UD) permettent aux apprenants d'explorer concrètement les différences de structure et de comportement à la manipulation. Des flèches indiquant l'orientation des fibres, apposées directement sur les échantillons ou représentées sur des schémas, aident à expliquer les chemins de charge et les performances structurelles.

Une petite pièce de maquette, telle qu'une forme en mousse, permet aux apprenants de s'exercer au drapage des textiles et d'observer comment différentes structures se comportent sur des surfaces courbes. Des fiches d'exercices proposant des exercices d'association entre les textiles et leurs applications favorisent la réflexion et aident les apprenants à relier le choix des textiles aux exigences réelles de la construction navale.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Échantillons textiles (tissés, non tissés, à fibres unidirectionnelles)
- Flèches indiquant le sens des fibres (sur les échantillons ou les schémas)
- Pièce de modèle à draper (par exemple, une petite forme en mousse)
- Exercices d'association entre les textiles et leurs utilisations.

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis

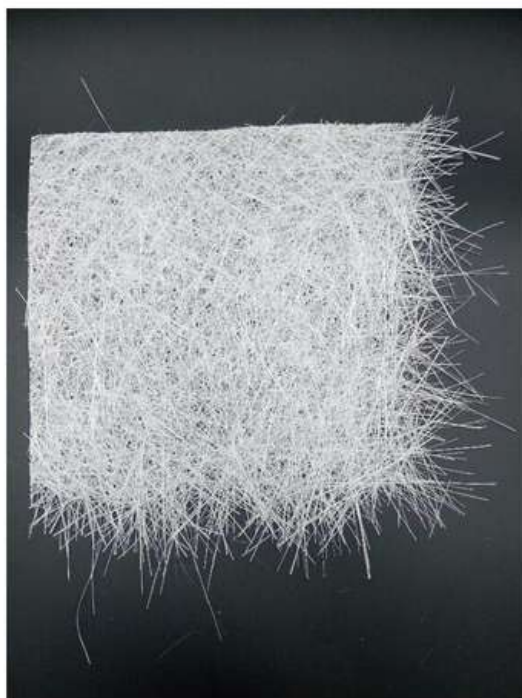


Tissu en fibre de verre biaxial



Tissu triaxial en fibre de verre

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



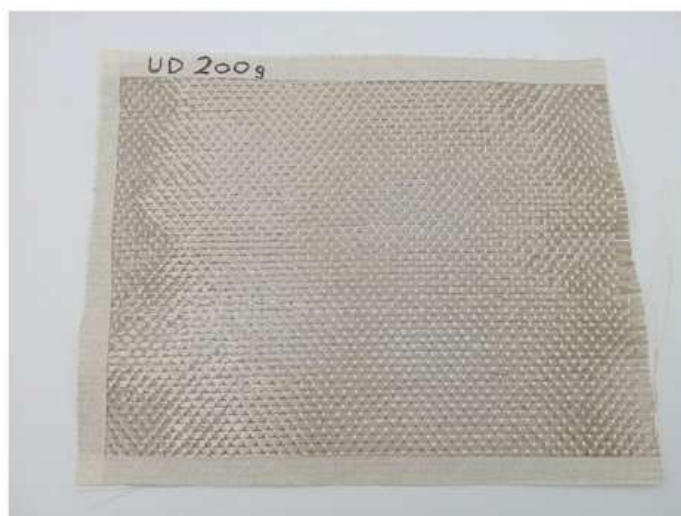
Natte de fibres coupées



Tissu biaxial de fibres volcaniques



Tissu triaxial de fibres volcaniques



Tissu unidirectionnel de fibres volcaniques

Sous-thème 2.2.5 : Ames (noyaux) de sandwichs durables : bois de Balsa, liège, PET recyclé, bois

Ce sujet tire grandement parti de l'utilisation d'échantillons de matériaux de base. De petits blocs ou des morceaux de balsa, de liège, de mousse de PET recyclée, de bois et de papier alvéolé permettent aux apprenants de comparer le poids, la rigidité, la texture de surface et la structure interne. Une fiche technique ou un tableau récapitulatif simple présente les principales propriétés, telles que la densité, la résistance à la compression et les aspects liés à la durabilité.

Une balance (en option) peut être utilisée pour illustrer les différences de densité, tandis que des outils de découpe sécurisés permettent aux apprenants de ressentir la résistance et la structure interne sous la supervision d'un formateur. Un document présentant un tableau de sélection des matériaux pour les noyaux facilite les exercices de prise de décision dans lesquels les apprenants choisissent les noyaux adaptés à des composants spécifiques du bateau.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Échantillons ou découpes de matériaux de structure (balsa, liège, mousse de rPET, etc.)
- Fiche technique simple / Tableau récapitulatif
- Pèse-personne (en option)
- Couteau ou outil de découpe pour la texture (si cela ne présente aucun danger)
- Document : matrice de sélection des matériaux de base

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



Noyau en mousse rainurée



Noyau en mousse rigide



Noyau de balsa

Unité 3 - Techniques de mise en œuvre dans les travaux de fabrication et de réparation

Sous-thème 3.1.1 : Outils, équipement, préparation de la surface

Ce module présente aux apprenants les outils, l'équipement et les étapes préparatoires nécessaires avant de pouvoir commencer tout travail de stratification ou de réparation de composites. Des exemples d'outils à main, tels que des ciseaux, des rouleaux et des tampons de ponçage, doivent être mis à disposition pour permettre une familiarisation pratique. Des échantillons de surface préparés à partir de différents matériaux (par exemple, des stratifiés durcis, des surfaces en gelcoat ou des matériaux d'âme) sont indispensables pour s'exercer aux tâches de préparation. De l'acétone ou un substitut approprié et plus sûr est utilisé pour démontrer le nettoyage des surfaces et l'élimination des contaminants. Des équipements de sécurité tels que des gants, des lunettes de protection et des masques doivent être disponibles et utilisés systématiquement pendant toutes les activités de préparation. Cela renforce l'attention portée à la sécurité dans le cadre des pratiques de travail et met en évidence les risques pour la santé et l'environnement associés à la poussière, aux solvants et aux fibres. Une liste de contrôle imprimée décrivant les étapes de préparation des surfaces fournit des conseils structurés, aide les apprenants à s'approprier des séquences correctes, les contrôles de qualité et les mesures de sécurité.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Exemples d'outils : ciseaux, rouleaux, disques abrasifs, acétone ou produit de substitution
- Échantillons de surface pour les tâches de préparation
- Équipement de sécurité (gants, lunettes de protection, masques)
- Liste de contrôle imprimée des étapes de préparation des surfaces

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis

Spatules en bois





Papier abrasif pour le ponçage des ponts (différents grains)



Papier de verre (différents grains)

Sous-thème 3.1.3 : Techniques de stratification : application de résines biosourcées avec des fibres innovantes

Les exercices pratiques de stratification nécessitent un équipement d'atelier réaliste. Les tissus en fibres naturelles, tels que les fibres de lin, associés à des résines d'origine biologique, permettent aux apprenants de se concentrer sur la bonne exécution du processus plutôt que sur les erreurs de préparation des matériaux. Les pinceaux, les rouleaux et les outils de mélange facilitent la mise en œuvre pratique, tandis qu'un moule ou une plaque d'acier offre une surface de stratification contrôlée.

Les équipements de protection renforcent la sécurité des pratiques de travail. Une fiche de contrôle des instructions de stratification guide les apprenants étape par étape tout au long du processus, les aidant ainsi à développer des techniques cohérentes et reproductibles, conformes aux normes du secteur.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Tissu en fibres naturelles (lin, fibres techniques)
- Bio-résine (pré-dosée)
- Pinceaux, rouleaux, ustensiles de mélange
- Moule ou tôle d'acier
- Équipement de protection
- Liste de contrôle des instructions de stratification

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



Pinceau



Rouleau



Rouleau de consolidation



Récipient de mélange



Mélangeur

Sous-thème 3.1.4 : Défis : difficultés de traitement et optimisation des matériaux durables

Pour illustrer les difficultés liées au traitement, les apprenants doivent travailler avec des matériaux tels que le twill de lin et le twill de fibre de verre de poids similaire, ainsi qu'avec des résines époxy d'origine biologique et des résines époxy standard. Cette configuration permet de comparer directement le comportement à la manipulation, les caractéristiques d'imprégnation et la qualité de surface.

Des panneaux de stratification ou des moules permettent de réaliser des essais pratiques, tandis qu'un kit de démonstration d'infusion sous vide, manipulé par le formateur, présente des méthodes de traitement plus avancées. Des exemples d'images de défauts (par exemple, taches sèches, déformation des fibres, zones riches en résine) aident les apprenants à identifier les problèmes courants. Une fiche de travail consacrée à l'inspection et à la réflexion encourage l'analyse et la discussion sur la manière d'optimiser l'utilisation durable des matériaux.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Tissu de lin (armure sergée), fibre de verre (armure sergée), de poids similaire
- Résines époxy d'origine biologique et classiques
- Outils de mélange, pinceaux, rouleaux
- Plaques de stratification ou moules
- Kit de démonstration d'infusion sous vide (à usage pédagogique)
- Exemples d'images de défauts à des fins de comparaison
- Fiche de travail sur l'auto-évaluation et la réflexion destinée aux apprenants

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



Résine polyester (standard)



Pinceaux



Rouleaux



Récipients de mélange



Mélangeur



Pompe de mise sous vide



Tissu d'arrachage



Film de mise sous vide



Joint d'étanchéité à l'air



Consommables commun pour la stratification sous vide de composites



Piège à résine

Sous-thème 3.2.2 : Techniques de réparation : méthodes de réparation standardisées pour les composites durables

La formation à la réparation nécessite des scénarios de dommages réalistes. Une plaque stratifiée endommagée sert de support aux exercices de réparation réalisés à l'aide de tissus en fibres naturelles ou volcaniques et de bio-résines. Des pinceaux, des rouleaux et des outils de mélange permettent une application contrôlée, tandis que le matériel de meulage et de ponçage permet aux apprenants de préparer correctement les zones à réparer.

Les équipements de protection sont indispensables pour renforcer les normes de sécurité. Une liste de contrôle des instructions de stratification garantit que les réparations sont effectuées selon une méthode structurée et normalisée, ce qui aide les apprenants à comprendre les exigences de qualité en matière de réparation durable des composites.

Liste du matériel et de l'équipement indispensables :

- Tissu en fibres naturelles (fibres volcaniques)
- Bio-résine (pré-dosée)
- Pinceaux, rouleaux, ustensiles de mélange
- Plaque stratifiée endommagée
- Matériel de meulage et de ponçage (papier abrasif, meuleuse, etc.)
- Équipement de protection
- Liste de contrôle des instructions de stratification

Exemples illustrant le matériel et l'équipement requis



Pinceaux



Rouleaux



Récipients de mélange



Mélangeur



Papier abrasif pour le ponçage des ponts (différents grains)



Papier de verre (différents grains)



Annexes

Supports de Présentations :

- Vidéos issues des Ateliers d'Observation des Compétences
- Présentation sur les matériaux « deep tech »
- Présentation sur les Propriétés Mécaniques des Matériaux





Vidéos issues des Ateliers d'Observation des Compétences



Co-funded by
the European Union

ERASMUS-EDU-2023-PI-ALL-INNO

Les vidéos suivantes ont été réalisées dans le cadre du projet européen TEcoNaut. Plus précisément, ces séquences ont été filmées lors des ateliers d'observation des compétences organisés au chantier naval d'Astondoa, ainsi que dans les locaux d'Innovation Yachts et de Green Boats.

Ces séquences couvrent l'ensemble du processus de production, depuis les matières premières respectueuses de l'environnement jusqu'à la mise en œuvre pratique de techniques de fabrication spécialisées, telles que l'infusion de résine sous vide.

Vidéo 1 : Fabrication de matériaux composites à partir de fibres recyclées et de techniques de mise sous vide

<https://www.youtube.com/watch?v=CxCg8OJMKFI>



Copyright © ASTONDOA

Que contient la vidéo ?

La vidéo présente l'application pratique de matériaux durables dans **la fabrication de panneaux composites (stratifiés)**. Elle commence par une formation théorique sur **les fibres de carbone recyclées**, puis passe à la mise en pratique, en abordant **le procédé d'infusion sous vide de la résine**. Pour le premier échantillon, on utilise de **la résine thermoplastique** et **des fibres de carbone recyclées**. Elle comprend les étapes critiques du processus, telles que **le test d'étanchéité du sac sous vide** et **le test de résistance du panneau final à l'acétone**. Pour le deuxième échantillon, un panneau composite est fabriqué à partir de résine bio-époxy, de liège et de fibres de lin. Elle est idéale pour illustrer le passage de la théorie à la pratique et pour comparer différents systèmes d'infusion dans des conditions réelles.

Vidéo 2 : Techniques de moulage par mise sous vide après stratification avec de la résine, des fibres minérales et une âme en bois de balsa

<https://www.youtube.com/watch?v=qMBLFOvja0M>



Copyright © INNOVATION YACHTS

Que contient la vidéo ?

Cette vidéo constitue un guide détaillé, étape par étape, sur la stratification dans la construction navale. Le processus commence par **la découpe des couches** et **la préparation de la surface** du moule, qui est déjà recouverte d'une couche de gelcoat. Viennent ensuite l'application de **la première couche de résine**, en accordant une attention particulière aux angles, et la mise en place progressive de **trois couches de fibre**. Une partie importante de la vidéo est consacrée à la préparation et au positionnement du bois de balsa aux endroits appropriés. Le processus se termine par **la phase de mise sous vide**, qui utilise des matériaux tels que **le tissu d'arrachage, le film de démoulage, la mousse drainante et une bâche de mise sous vide**. La dernière étape consiste à **inspecter et à colmater les éventuelles fuites**.

Vidéo 3 : Innovation et développement durable dans la construction navale : Matériaux et Applications

<https://www.youtube.com/watch?v=6fjG-WgYl6Y>



Copyright © INNOVATION YACHTS

Que contient la vidéo ?

Cette vidéo aborde l'utilisation des **matériaux en polyester** et des **résines époxy**, en analysant les défis et les avantages de chaque option. **Des échantillons de certains matériaux bio-sourcés** sont présentés, suivis d'**une démonstration pratique de la technique de stratification par pose manuelle** sur une section réelle de bateau. La vidéo montre l'utilisation **des outils de stratification manuelle** et **des outils de découpe spécialisés** pour pré-couper les fibres et les tissus, ainsi que **la préparation de la mise sous vide**. La vidéo se termine par **le démoulage** réussi du produit fini.

Vidéo 4 : Les fibres de lin naturelles dans la construction durable de bateaux de plaisance

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Que contient la vidéo ?

La vidéo met l'accent sur l'utilisation **des fibres de lin** comme alternative durable aux matériaux de renforcement traditionnels. Les avantages du lin, tels que **sa faible empreinte carbone** et **ses excellentes propriétés mécaniques**, sont présentés et comparés à ceux des fibres de verre et de carbone. Le processus comprend une explication **de la culture et de la transformation de la plante** jusqu'à sa **conversion en tissus**. Dans la partie pratique, leur application dans **des structures en sandwich** et leur compatibilité avec les bio-résines sont démontrées, mettant en évidence le potentiel de **recyclage** et de réduction des déchets dans le secteur des bateaux de plaisance.

Vidéo 5 : Visite et présentation des matériaux durables dans un chantier naval

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Que contient la vidéo ?

La vidéo rend compte d'une visite dans un véritable site de production, en mettant l'accent sur la présentation visuelle des matériaux et des équipements. Des gros plans montrent des **rouleaux de fibres naturelles** stockés sur des rayonnages, tandis qu'un **matériau d'âme** ayant déjà subi un traitement sous vide est présenté. L'étudiant peut observer le processus d'application d'un **ruban d'étanchéité** sur un moule en vue de la préparation du **sac de mise sous vide**. De plus, le résultat final d'un **bateau en cours de construction** est présenté, mettant en évidence la texture **des fibres naturelles** après stratification.

Vidéo 6 : Développer les compétences techniques en construction navale grâce à l'utilisation de matériaux durables dans la fabrication de véhicules

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Que contient la vidéo ?

La vidéo montre comment l'expertise en matière de **fibres naturelles** et de **matériaux composites** peut être transposée du chantier naval à d'autres applications industrielles. Elle met l'accent sur l'utilisation de **structures légères** pour **la conception de cabines et l'aménagement de camping-cars**. Le stagiaire peut observer l'application pratique des **panneaux composites** dans l'aménagement intérieur et l'isolation des véhicules, ce qui démontre que la maîtrise de ces matériaux offre des solutions à tout secteur exigeant **durabilité, légèreté et construction durable**.

Vidéo 7 : Guide en sept étapes pour l'infusion de résine sous vide

<https://teconaut.eu/en/downloads/skills-shadowing-videos/>



Copyright © GREENBOATS

Que contient la vidéo ?

Le procédé d'infusion de résine sous vide est présenté en sept étapes, à l'aide de **fibres de lin**. Des **outils de découpe** sont utilisés pour préparer les tissus, ainsi que du **ruban d'étanchéité** et des **tuyaux flexibles spécialisés** pour le transfert de la résine et le raccordement à **la pompe à vide**. La vidéo montre l'utilisation d'un **vacuomètre** pour détecter les fuites et surveiller la pression pendant l'infusion de résine. Le procédé comprend l'utilisation de **réipients de mélange** de résine et de **colliers de serrage** pour réguler le débit, tandis que le contrôle final est effectué sur **un échantillon en plaque plane**.



Présentation sur les Matériaux « Deep Tech »

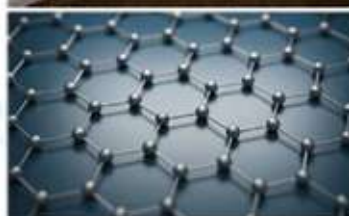





Co-funded by the European Union

An Overview of the Deep Tech Materials Landscape

Artur Karczewski, PhD, Eng.
Gdańsk University of Technology
Gdańsk, Poland


Co-funded by the European Union

Presentation overview

- Deep Tech Materials definition?
- Why is there a need to use deep-tech materials?
- Deep Tech materials overview
- Group work and discussion



Co-funded by the European Union

Question

When you hear the term Deep tech material, what do you think of?

Scan and answer






Deep tech materials

Deep tech materials are advanced materials that emerge from cutting-edge scientific research and technological breakthroughs. Unlike conventional materials, they are defined by the high level of complexity, uncertainty, and innovation involved in their development.



Why do they matter?

Deep tech materials aren't just new—they're changing the rules of how we design, produce, and use materials across industries.

They are transforming: automotive, aerospace, electronics and medicine.



Co-funded by the European Union

Automotive

- Advanced high-strength steels (AHSSs) in body structures and chassis
- Natural-fiber-reinforced composites
- Graphene and carbon nanotubes in sensors and actuators
- Metamaterials for radar, antennas, and electromagnetic shielding for electric vehicles
- Piezoelectric materials in sensors and actuators
- Shape Memory Alloys (SMAs) in structural components and safety applications
- Man-made honeycomb structures in automobile components




Co-funded by the European Union

Aerospace

- Lightweight carbon-based nanomaterials and auxetic metamaterials (NPRs) in aerospace applications
- Advanced polymers for fuselage and wings
- Advanced composites for spacecrafts crew decks and armor use
- Bio-inspired design in aerospace innovations




Co-funded by the European Union

Electronics

- Quantum dots in display technologies
- Nanowires, carbon nanotubes (CNTs), graphene in electronic parts
- Advanced conductive polymers (ACPs), in smart electronics, bioelectronics, energy storage and conversion devices
- Smart materials and metamaterials in wearable electronics and sensors
- Transition metal dichalcogenides (TMDs) in photonics
- Bio-inspired materials in batteries and portable electronics




Co-funded by the European Union

Healthcare

- Biocompatible materials and electromagnetic metamaterials for wearable flexible hybrid electronics
- Polymer-based composites for tissue engineering and drug delivery
- Carbon nanotubes, nanowires, nanoparticles, quantum dots and graphene in diagnostics, drug and alcohol sensing, drug delivery, biosensors and bioelectronic devices
- Bio-inspired innovations in reducing disease transmission






Question

Why is there a need to search for new materials in boathbuilding?

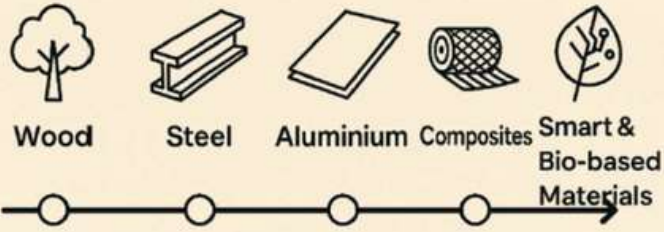
Office on the web Frame

Scan and answer






Transistion



Wood Steel Aluminium Composites Smart & Bio-based Materials



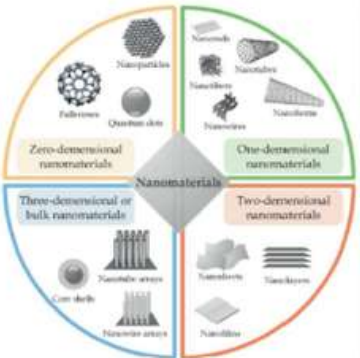

Comparison

	Deep-Tech	Traditional Materials
Weight	Lightweight	Heavier
Strength	Higher	Lower
Corrosion Resistance	High	Limited
UV Resistance	Strong	Needs Coating
Recyclability	Varies	Lower
Repairability	Easier	Easier




Nanomaterials

Nanomaterials are materials engineered at the nanometer scale (1 – 100 nm), where quantum and surface effects dominate material behavior. Due to their extremely small size and large surface area-to-volume ratio, nanomaterials exhibit unique mechanical, chemical, thermal, and electrical properties not observed in their bulk counterparts. These characteristics make them particularly well-suited for applications in challenging marine environments, including boat construction, underwater systems, and offshore infrastructure.





TECONAUT



Co-funded by the
European Union

Nanomaterials

Category	Details
Material Classification	Nanostructured materials (e.g., nanoparticles, nanotubes, nanocomposites)
Mechanical Properties	High strength-to-weight ratio, fracture resistance, fatigue life enhancement
Surface Functions	Corrosion resistance, anti-fouling, UV protection, self-cleaning
Thermal/Optical Properties	UV blocking, heat dissipation, thermal insulation
Applications in Yachts	Nano-reinforced hulls, anti-fouling coatings, nanostructured UV-protective finishes, advanced sensor systems, nanocoatings on mechanical parts
Emerging Uses	Smart coatings, nanogenerators, lightweight energy storage (batteries, supercapacitors)



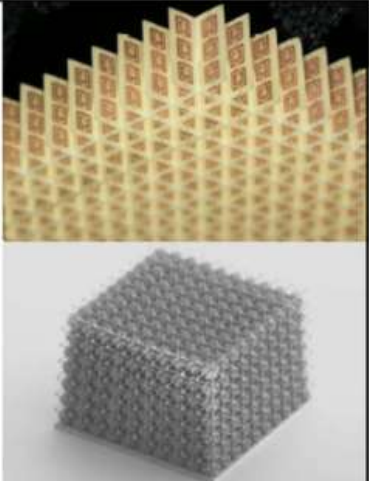
TECONAUT



Co-funded by the
European Union

Metamaterials

Metamaterials are artificially engineered materials designed to exhibit physical properties not found in nature. By carefully structuring their internal geometry, these materials can control acoustic, thermal, and electromagnetic waves in ways conventional materials cannot. While metamaterials have been widely explored in aerospace, defense, and telecommunications, their potential in the field of boat construction is increasingly recognized.





TECONAUT



Co-funded by the
European Union

Metamaterials

Category	Details
Material Classification	Advanced Engineered Materials (subset of functional materials)
Division into Groups	- Mechanical Metamaterials – optimized for strength, flexibility, etc. - Acoustic Metamaterials – control of sound waves; - Thermal Metamaterials – manipulation of heat flow; - Electromagnetic Metamaterials – control of EM/radar waves; - Optical Metamaterials – light wave control (cloaking, lenses)
Mechanical Properties	- High strength-to-weight ratio - Auxetic behavior (negative Poisson's ratio) - High stiffness or controlled deformability



TECONAUT



Co-funded by the
European Union

Metamaterials

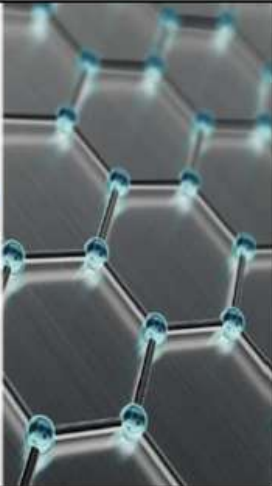
Category	Details
Mechanical Properties	- Energy absorption - Tuneable elasticity and density depending on geometry
Application Cases	- Boat hulls: lightweight, impact-resistant structures - Noise insulation: cabins with acoustic metamaterials - Radar stealth: reduced detectability of military vessels - Thermal management: optimized interior climate control - Hydrodynamic coatings: drag reduction, anti-biofouling - Energy harvesting: from wave or vibration-induced deformation




TECONAUT

Quantum materials

Quantum materials, defined by properties like entanglement, topological states, and strong electronic correlations, represent a new frontier in advanced materials. Their application can be already encountered particularly in the healthcare industry and electronics. Though their current use in the maritime sector—particularly the yacht industry—is limited, their potential is significant. These materials could revolutionize marine systems through ultra-sensitive sensors, efficient energy subsystems, and high-performance composites tailored for demanding oceanic environments.





TECONAUT

Quantum materials

Category	Details
Material Classification	Topological insulators, Weyl and Dirac semimetals, Mott insulators, heavy fermion systems, unconventional superconductors, spin liquids
Division into Groups	- Topological states - Strong electronic correlations - Quantum spin and entanglement phenomena
Mechanical Properties	- Generally brittle and sensitive to defects - Low ductility and mechanical strength - Not suitable for structural or load-bearing use - Often require encapsulation or substrate stabilization




TECONAUT

Advanced polymers & composites

Polymers and composites are some of the most widely used materials in modern boatbuilding. Unlike traditional materials such as wood or steel, composites are made by combining a polymer resin (the glue or matrix) with reinforcing fibers (like glass, carbon, or flax). This combination creates materials that are light, strong, and versatile, making them ideal for both structural parts of a boat and interior features.





TECONAUT

Advanced polymers & composites

Category	Details
Material Classification	Polymers / composites are a composition of at least two materials, with different physical and chemical properties, in this case: - Polymer plastics, the resin - Organic and / or inorganic fibre reinforcements
Division into Groups	They are grouped by manufacturing qualities and origins: - Resins / Matrixes / Plastics / Glue: - Thermosets / Thermosetting polymer (e.g. Epoxy, Polyester) - Thermoplastics (e.g. Acrylics) - Fiber reinforcements: - Inorganic - Mineral (e.g. Volcanic, Basalt, Glass) - Organic: Plant fibres (e.g. Flax, Hemp, Bamboo); Synthetic fibres (e.g. Carbon, Aramid)




Advanced polymers & composites

Category	Details
Mechanical Properties	• Lightweight • High-strength & high-stiffness • Versatility in application & in design • Resistance to environment • Low manufacturing costs
Application Cases	• Hull and deck structure • Inner hull • Shower trays • Interior arrangement




Bio-inspired & smart materials

Bio-inspired & smart materials can be grouped by their functional analogy to natural systems, while smart materials are typically classified by their response to external stimuli such as temperature, pH, light, or mechanical stress. These two categories overlap in function but differ in conceptual origin: bio-inspiration derives from observed biological strategies; smart materials focus on stimulus-triggered reactions. Smart materials are typically classified by the external stimulus they respond to.






Bio-inspired materials

Category	Description
Material Classification	Bio-inspired (functionally nature-derived) / Smart (stimuli-responsive)
Division into Groups	Bio-inspired by surface (e.g., lotus, sharkskin), structure (e.g., fibres, cuticle), or function
Mechanical Properties	Varying; often not load-bearing; some materials offer vibration damping, wear and impact resistance
Limitations	Durability, lack of certification, limited structural applications, scalability
Application Cases	Anti-fouling coatings, composites, sensor-embedded laminates, self-healing coatings

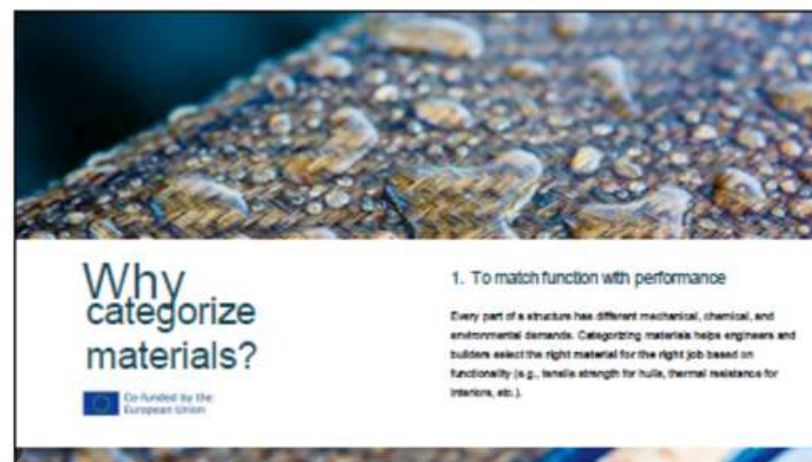



Sustainability materials

Sustainable materials—such as recycled PET cores, bio-based resins and recycled carbon fibers—are emerging as viable alternatives in marine construction. Offering solid structural performance and environmental benefits, they are increasingly used in hulls, decks, and non-critical components of energy-efficient vessels.









Why categorize materials?

Co-funded by the European Union

2. To enable smarter, more sustainable design

Categorizing materials based on properties like recyclability, bio-content, or lifecycle impact supports eco-conscious decisions. It helps designers avoid "burden shifting" (solving one environmental problem while creating another), a common issue in sustainability.



Why categorize materials?

Co-funded by the European Union

3. To improve manufacturing and maintenance efficiency

Functional categorization guides process planning — certain materials are better suited to vacuum infusion, others to hand lay-up or 3D printing. It also helps predict reparability, lifespan, and end-of-life scenarios (e.g., ease of disassembly, recyclability).



Why categorize materials?

Co-funded by the European Union

4. To align with regulatory and certification requirements

5. To support innovation and integration of new technologies

6. To enhance communication across teams

Co-funded by the European Union



Importance

of material categorization in yacht design, sustainability, and performance

1. Yacht design: engineering for purpose:

Categorizing materials based on their mechanical properties (tensile, flexural, impact, etc.) and functional roles helps naval architects and designers:

- Select optimal materials for each part
- Design lighter, stronger, and safer boats
- Balance cost vs. performance in a rational way

Hulls	Decks	Interiors
		
Impact and Water Resistance	Slip Resistance and Strength under Compression	Weight and Aesthetics

Co-funded by the European Union

Importance

of material categorization in yacht design, sustainability, and performance

2. Sustainability: Smarter Material Choices

Functional categorization includes environmental metrics such as:

- Renewability
- Recyclability
- Life cycle emissions
- End-of-life options (reuse, biodegradability)

This enables builders to:

- Reduce carbon footprint (e.g., by choosing flax over fiberglass)
- Avoid toxic resins and coatings
- Improve circularity through modular construction and recyclable composites



Co-funded by the European Union

Importance

of material categorization in yacht design, sustainability, and performance

3. Performance: Getting the best out of the boat

Materials influence the speed, durability, and comfort of a yacht.

Categorizing by performance allows:

- Strategic layering and lay-up design
- Better resistance to marine threats (UV, osmosis, corrosion)
- Enhanced hydrodynamics through advanced coatings (e.g., sharkskin-inspired)



TECONAUT Co-funded by the European Union

Deep – tech materials

Deep-tech materials are advanced materials that emerge from cutting-edge scientific research and technological breakthroughs. Unlike conventional materials, they are defined by the high level of complexity, uncertainty, and innovation involved in their development.



TECONAUT Co-funded by the European Union

Key features

Complexity - Engineered at the molecular, nano, or multi-functional level. Often involve hybrid systems (e.g., bio-based + smart).

Innovation-Driven - Born from frontier science (nanotech, AI-driven materials discovery, quantum chemistry). Often protected by patents or require IP strategies.

Long R&D Cycles - Years (sometimes decades) from lab to commercial use. Require high investment and iterative testing.

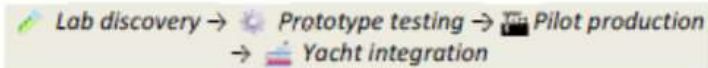


Co-funded by the
European Union

Key features

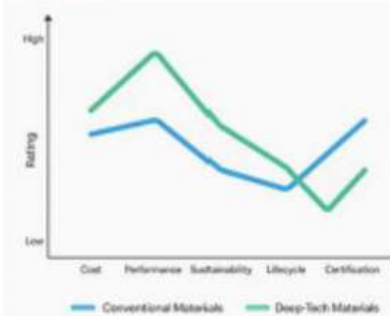
Uncertainty - Technical (performance in real-world), regulatory (compliance), and market-related (adoption and scale) risks.

High Entry Barriers - Require specialized knowledge, infrastructure, and certification. Not easily commoditized.



Co-funded by the
European Union

Key features



- Higher strength-to-weight ratios
- Improved fatigue, thermal, and chemical resistance
- Custom-engineered at nano or molecular levels (e.g., carbon nanotubes, graphene)
- Enable multifunctional applications (e.g., structural + sensing + self-healing)



Co-funded by the
European Union

Question

In your opinion, what is the greatest barrier to implementing modern materials in real-world structures?

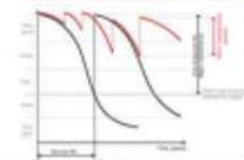


Co-funded by the
European Union

But also...



- High initial cost
- Lack of certification and regulatory approval
- Limited manufacturing infrastructure
- Resistance to change in industry culture
- Unknown long-term durability or performance
- Insufficient training or workforce skills
- Supply chain and sourcing limitations
- Lifecycle data and recyclability gaps



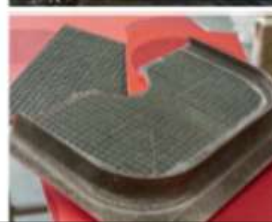


Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Natural fibers (Flax, Hemp, Jute)

- High tensile strength with low weight
- Bio-based and renewable
- Biodegradable or recyclable
- Lower environmental impact than fiberglass
- Good compatibility with bio-resins and vacuum infusion

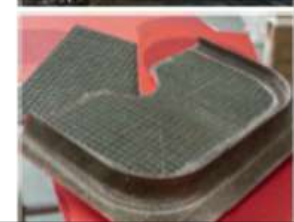


Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Natural fibers (Flax, Hemp, Jute)

- Moisture absorption must be managed
- Variability in fiber quality
- Needs surface treatments for durability



Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Basalt & recycled fiber reinforcements

- High thermal and fire resistance (Basalt > Fiberglass)
- Lightweight with excellent mechanical properties
- Made from abundant or waste resources
- Resistant to moisture, corrosion, and fatigue
- Enables reuse of industrial waste and lower embodied energy



Co-funded by the
European Union

Category 1: Structural reinforcement materials

Basalt & recycled fiber reinforcements

- Basalt is more expensive than fiberglass
- Recycled fibers can have variable quality and limited certifications
- Mechanical properties are often slightly below virgin carbon/glass

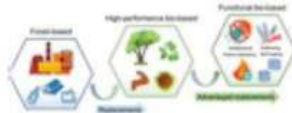




Co-funded by the
European Union

Category 2: Matrix and binding materials

Resins: The "Glue" of Composites



Bio-based thermoset resins

- Derived from plant oils, lignin, starch, or sugar
- Often used as drop-in replacements for epoxy or polyester
- Renewable

Thermoplastic resins

- Can be melted and reformed (vs. thermosets which are irreversible)
- Enable recyclability and modular construction (heat-formable)





Co-funded by the
European Union

Category 2: Matrix and binding materials

Resins: The "Glue" of Composites



- Cost of bio-resins still higher than petro-based
- Thermoplastics require different processing equipment
- Certification lag for marine use








Co-funded by the
European Union

Category 3: Functional smart and responsive materials

Smart polymers

- self-healing
 - Automatically repairs micro-cracks or surface damage without manual intervention
 - Increases lifespan and reduces maintenance
- thermo-Responsive (change stiffness, shape, or adhesion based on temperature)
- pH or moisture responsive (useful in bilge protection, humidity control, or corrosion prevention)






Co-funded by the
European Union

Category 3: Functional smart and responsive materials

Smart polymers

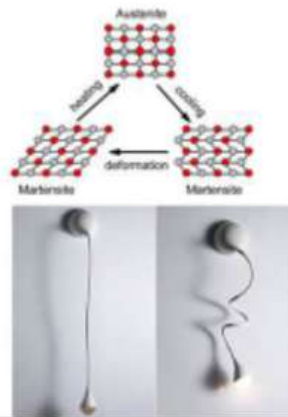
- Most applications still in R&D or prototype phase
- Need for marine-specific validation (saltwater, wear, etc.)
- Cost currently high for large-scale components




Category 3: Functional smart and responsive materials

Shape memory alloys

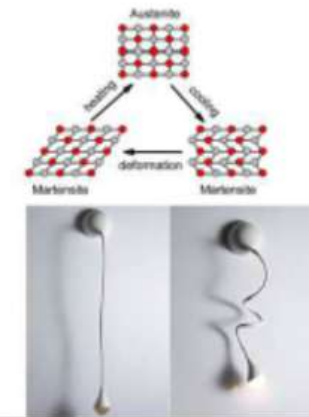
- Shape recovery after deformation - No external motors or hydraulics needed
- thermo-responsive actuation - React to heat, electric current, or magnetic field
- Silent and compact motion control - Ideal for tight spaces with no room for mechanics



Category 3: Functional smart and responsive materials

Shape memory alloys

- High material cost (e.g., NITINOL)
- Needs precise temperature control
- Long-term fatigue in marine environments still under study
- Complex design integration (not plug-and-play)

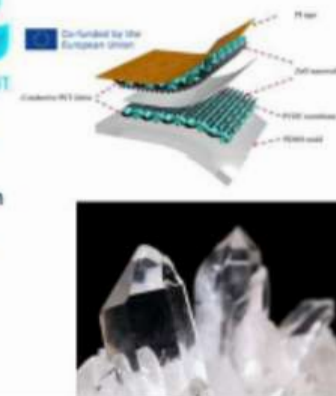


Category 3: Functional smart and responsive materials

Piezoelectric & sensor materials

Materials that generate electrical signals when mechanically stressed, or change shape when voltage is applied.

- Real-time stress and vibration monitoring – structural health monitoring
- Wave impact & pressure detection - Adaptive behavior or alerts in rough seas
- Leak or bilge water sensors - Automatic pump activation, early warnings
- Position & strain sensing - smart sail adjustment or trim feedback

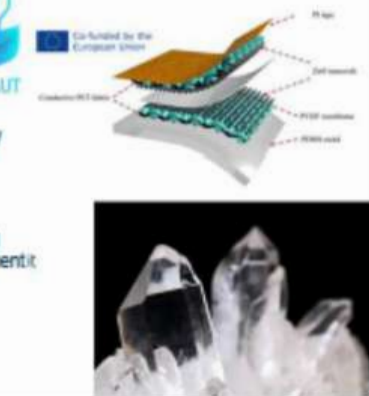


Category 3: Functional smart and responsive materials

Piezoelectric & sensor materials

Materials that generate electrical signals when mechanically stressed, or change shape when voltage is applied.

- requires integration into design phase
- saltwater corrosion protection needed
- must avoid false positives due to motion/vibration (typical problems of SHM systems but in the case of sea environment it is even more difficult to manage)





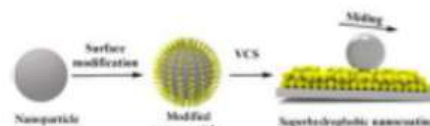
Co-funded by the
European Union

Category 4: Surface and environmental coatings

Nanocoatings

Ultra-thin surface treatments engineered at the nano-scale, providing enhanced protection and functional properties without changing the material's appearance or weight.

- UV Protection
- Self-Cleaning (Hydrophobic)
- Anti-Fouling Properties
- Corrosion & Abrasion Resistance

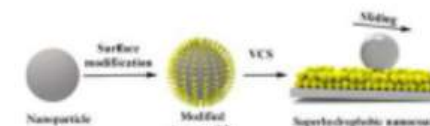


Co-funded by the
European Union

Category 4: Surface and environmental coatings

Nanocoatings

- the application requires precise surface prep
- wear over time — some coatings need reapplication
- the cost varies depending on the formula and substrate



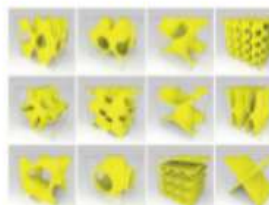
Co-funded by the
European Union

Category 4: Surface and environmental coatings

Metamaterial-based surfaces

Engineered materials with structured micro- or nano-geometries that give them unusual properties — not found in nature or traditional materials.

- drag reduction surfaces - micro-ridges or "sharkskin" textures reduce water resistance
- noise-dampening panels - internal geometries cancel or absorb engine and vibration noise
- wave-manipulating coatings - control heat, sound, or radar reflection (in military/military-adjacent designs)



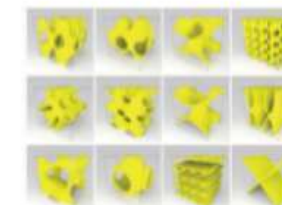
Co-funded by the
European Union

Category 4: Surface and environmental coatings

Metamaterial-based surfaces

Engineered materials with structured micro- or nano-geometries that give them unusual properties — not found in nature or traditional materials.

- most metamaterials are still in the research phase
- production requires precision microfabrication
- cost and marine durability testing are still evolving





Co-funded by the
European Union

Category 5: Core and lightweight materials

Sandwich core materials

Lightweight materials placed between two strong outer skins (like a composite laminate), creating a stiff, durable, and low-weight structure — much like an I-beam or honeycomb. Core materials in deep-tech yachts:

- recycled PET (rPET) foam
- balsa wood
- cork



Co-funded by the
European Union

Category 5: Core and lightweight materials

Sandwich core materials

- recycled PET (rPET) foam
 - lightweight, moisture resistant, and consistent
 - fully recyclable and available in various densities
- balsa wood
 - natural, ultra-light, excellent compressive strength
 - biodegradable, but vulnerable to moisture if not sealed
- cork
 - renewable, biodegradable, impact-absorbing
 - Naturally anti-slip
 - Lower strength than balsa, but very sustainable



Co-funded by the
European Union

Category 5: Core and lightweight materials

Paper honeycomb & foam alternatives

Lightweight, low-cost core structures used in non-structural or low-load areas, offering strength, flexibility, and sustainability — especially for yacht interiors.

- Paper honeycomb cores:
- Made from recycled paper or cardboard
 - Ultra-light, strong under compression, low cost
 - Fully recyclable and biodegradable



Co-funded by the
European Union

Category 5: Core and lightweight materials

Paper honeycomb & foam alternatives

Lightweight, low-cost core structures used in non-structural or low-load areas, offering strength, flexibility, and sustainability — especially for yacht interiors.

- Foam alternatives (bio-based or recycled):
- made from bio-resins, soy-based polyurethanes, or rPET foams
 - used where lightweight filler or shape is needed
 - often closed-cell = resistant to moisture
 - non-toxic options replacing petroleum-based foam





Co-funded by the
European Union

Category 5: Core and lightweight materials

Paper honeycomb & foam alternatives

Lightweight, low-cost core structures used in non-structural or low-load areas, offering strength, flexibility, and sustainability — especially for yacht interiors.

- not suitable for high structural loads
- paper honeycomb needs sealing against moisture
- limited long-term performance data in marine settings





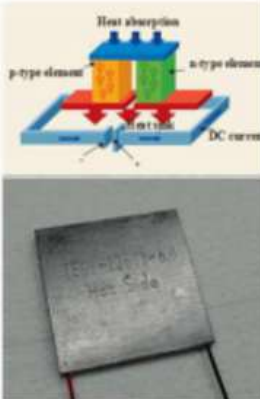
Co-funded by the
European Union

Category 6: Energy and thermal functional materials

Thermoelectric & Energy-Storing Materials

Thermoelectric materials - Materials that convert heat directly into electricity — without moving parts, wires, or batteries.

- Generate power from engine heat, sunlight, or surface temperature differences
- No fuel, no emissions, no moving parts
- Can power sensors, navigation beacons, micro-devices





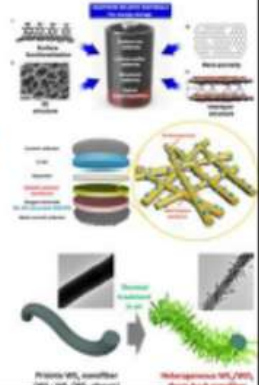
Co-funded by the
European Union

Category 6: Energy and thermal functional materials

Thermoelectric & Energy-Storing Materials

Energy storing materials - functional materials that can store and release energy — either integrated into boat structures or embedded in systems (e.g., supercapacitors, carbon fiber batteries).

- carbon fiber or composites infused with energy storage capacity
- panels or hull sections that store power like a battery
- potential to power lights, sensors, or small electronics



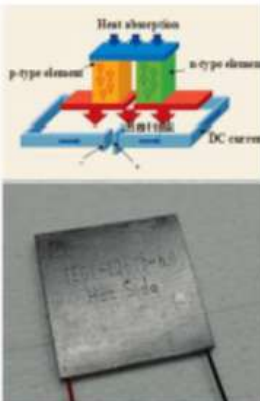


Co-funded by the
European Union

Category 6: Energy and thermal functional materials

Thermoelectric & Energy-Storing Materials

- Still in R&D or early prototype stages
- Low power output — only suitable for small loads
- High cost for energy-storing composites
- Needs custom integration into design phase





Co-funded by the European Union

Category 6: Energy and thermal functional materials

Solar integration with deep-tech layers

The embedding of solar energy harvesting into yacht components using thin, flexible, and smart photovoltaic materials — beyond traditional solar panels.

- flexible, lightweight, and can follow curved surfaces
- Transparent or semi-transparent films applied to glass, sails, or decks
- combine solar capture with UV protection, anti-fouling, or structural roles
- enables off-grid and silent operation
- powers lights, navigation systems, fridges, and winches





Co-funded by the European Union

Category 6: Energy and thermal functional materials

Solar integration with deep-tech layers

The embedding of solar energy harvesting into yacht components using thin, flexible, and smart photovoltaic materials — beyond traditional solar panels.

- efficiency still lower than rigid silicon panels
- vulnerable to abrasion, UV, and saltwater
- integration into curved composites requires advanced bonding techniques
- cost and durability under marine conditions still under



Which materials are ready now?



TRL	Stage	Example materials
1-3	lab research	Shape-memory alloys, metamaterials
4-5	prototype testing	Smart polymers, energy-storing composites
6-7	pilot production	Thermoplastics, thermoelectrics
8-9	commercial use	Flax fiber, rPET foam, bio-resins, nanocoatings



Co-funded by the European Union



Time for group work and discussion!

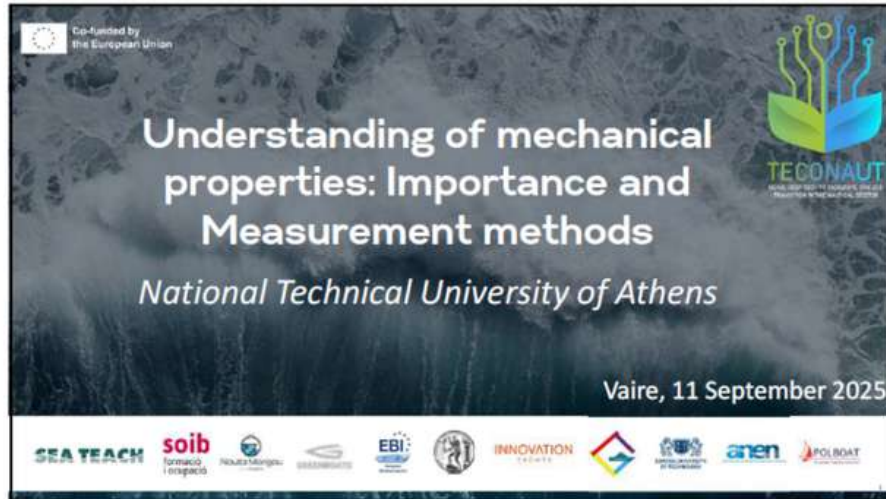


Co-funded by the European Union



Présentation sur les Propriétés Mécaniques des Matériaux





Co-funded by the European Union

Understanding of mechanical properties: Importance and Measurement methods

National Technical University of Athens

Vaire, 11 September 2025

SEA TEACH soib FORMACIO INNOVATION EBI anen POLBOAT



Part 1

Introduction

Co-funded by the European Union

Topics

- Definition of material properties
- Categories of material properties
- Definition of mechanical properties
- Why study mechanical properties
- Boatbuilding applications and mechanical properties' demands

Objectives

- Introduction to material properties
- Understanding of connection with boatbuilding applications

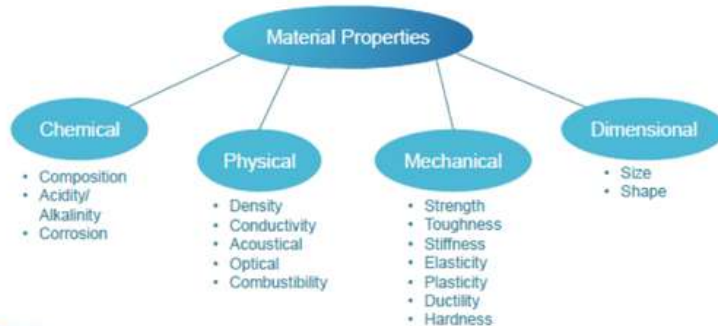
Co-funded by the European Union

Definition of material properties

- Materials have properties and measurements related to them.
- Material properties refer to the characteristics that define how a specific material behaves and responds under different conditions, encompassing its composition, physical attributes, and reaction to applied forces.
- Material properties determine materials use and applications.

Co-funded by the European Union

Categories of material properties



3

Definition of mechanical properties

- Mechanical properties refer to the characteristics of a material that describe its behavior under the action of external forces, such as tension, compression, bending, or torsion.
- These properties determine how a material responds to mechanical loads.
- They affect the mechanical strength and ability of a material to be molded in suitable shape and the ability to resist mechanical forces.
- They include attributes like strength, ductility, hardness, toughness, elasticity, and fatigue resistance.



4

Why study mechanical properties?

- Development and design of material applications for maximized efficiency.
Choosing the appropriate materials for specific applications is essential to ensure optimal performance within their intended environments.
- More efficient manufacturing process.
- Limitations awareness and management.
- Handling awareness for safety and accident prevention.
- Support the development of advanced materials for various applications in the boatbuilding industry.



5

Boatbuilding applications and mechanical properties' demands

- Understanding mechanical properties is essential as they determine the quality and functionality of the final product.
- Apart from quality and functionality, the mechanical properties influence durability, performance and damage vulnerability.
- Materials undergo testing and evaluations to ensure durability, resilience and finally suitability for applications.
- Challenge:** Mechanical properties which contribute to operational performance optimization usually makes manufacturing process more difficult.
→ Close cooperation between the designer and the manufacturer is the key element to overcome the challenge. Compromises always need to be made!



6



Part 2

Mechanical Properties

Co-funded by the European Union

Topics

- Mechanical properties
- In-plane tensile strength
- In-plane shear strength
- Compressive strength
- Stiffness
- Interlaminar shear strength (ILSS)
- Interlaminar fracture toughness
- Fatigue resistance
- Impact resistance
- Young's modulus
- Poisson's ratio
- Thermal expansion
- Moisture absorption

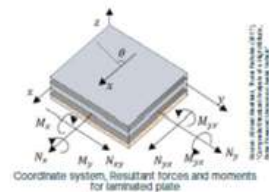
Objective

- Familiarization with mechanical properties

Co-funded by the European Union

Mechanical properties

The mechanical properties of composites describe how they react to applied forces, moments, torque and changes in environmental conditions such as temperature and humidity.



Coordinate system, resultant forces and moments for laminated plate

✓ In-plane tensile strength ✓ In-plane shear strength ✓ Compressive strength ✓ Stiffness ✓ Interlaminar shear strength (ILSS) ✓ Interlaminar fracture toughness	✓ Fatigue resistance ✓ Impact resistance ✓ Young's modulus ✓ Poisson's ratio ✓ Thermal expansion ✓ Moisture absorption
--	---

Co-funded by the European Union

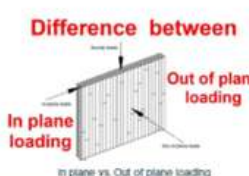
In-plane tensile strength

It is the maximum tensile stress that a composite material can withstand within the plane of its laminate layer before it breaks.

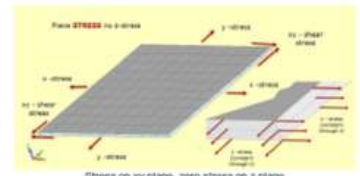
Because composites are fiber direction-dependent, in-plane tensile strength is measured in specific directions and is higher along the direction of fibers.



Tensile loading



Difference between
In plane loading vs. Out of plane loading



Stress on xy plane, zero stress on z plane

Co-funded by the European Union

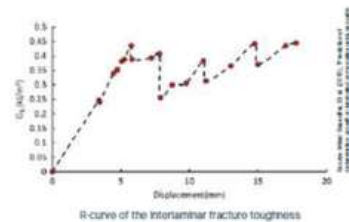


Co-funded by the
European Union

Interlaminar fracture toughness

It is a measure of a composite material's resistance to crack growth between its layers under different types of loading.

Compared to ILSS that measures stress, this one indicates how much energy the material can absorb before a crack between its layers grows.



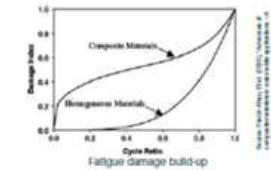
Co-funded by the
European Union

Fatigue resistance

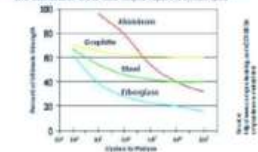
The ability of a composite material to withstand repeated cyclic loading (tension, compression, bending, or shear) without failing.

Fatigue occurs when a material is subjected to repeated or fluctuating stress, usually below its ultimate strength, causing progressive damage that can lead to sudden failure.

In composites fatigue is more complex, because the material is anisotropic and multiple failure mechanisms interact over time.



Comparison of Fatigue Strengths of Graphite, Steel, Fiberglass and Al2O3/BMI. Note the lower strength of graphite after 100,000 cycles.



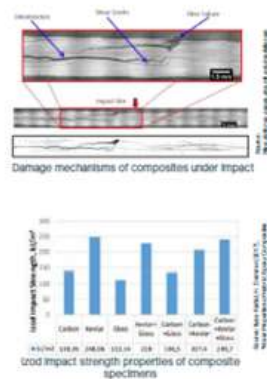
Co-funded by the
European Union

Impact resistance

The ability of a composite material to absorb and dissipate energy from a sudden force or impact (drop, strike, or collision) without catastrophic failure like cracking, delamination, or fiber breakage.

Importance:

- Composites are strong but often brittle (e.g., compared to Grade A/CK45 steel)
- Impact can cause internal damage that is not visible but severely weakens the structure



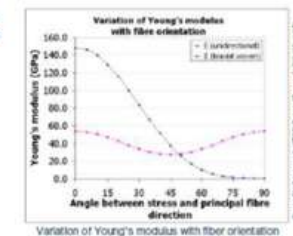
Young's Modulus, E

Young's modulus or modulus of elasticity, E, in composites is a measure of stiffness, that is, how much a composite resists deformation when a tensile, or compressive force is applied.

Higher E $\rightarrow$ stiffer material

Because composites are anisotropic, E depends on fiber orientation and laminate layout.

E_1 (along the fiber direction) $>$ E_2 (perpendicular the fiber direction)

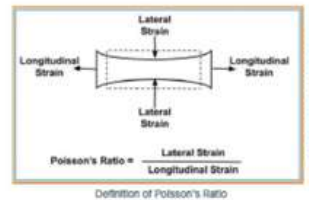


Poisson's Ratio, ν

It is the ratio of transverse strain to axial strain when the material is under tensile or compressive load.

Key point:

When a material is under tension in one direction, it shrinks in the perpendicular direction. Poisson's ratio measures the degree of shrinkage that occurs in a material in relation to its stretching.



Thermal Expansion

It refers to how much a composite changes in size (expansion or contraction) when the temperature changes.

The rate of this change is the coefficient of thermal expansion (CTE), denoted as α [$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$] in literature.

Moisture Absorption

It refers to the uptake of water or humidity from the environment into the matrix material (usually a polymer).

This occurs over time and can change the composite's properties (strength, stiffness, dimensions, and durability).

Quiz Time ?

Why is high stiffness an important mechanical property of composite material?

- a) It makes the material heavier and more durable.
- b) It allows the material to stretch easily under force.
- c) It helps the material resist bending or deformation under load.

Quiz Time ?

Why is high stiffness an important mechanical property of composite material?

- a) It makes the material heavier and more durable.
- b) It allows the material to stretch easily under force.
- c) It helps the material resist bending or deformation under load.



Part 3

Measurements and Specifications

 Co-funded by the European Union



Topics

- Why do we need quality control?
- ASTM and ISO Standards
- Tensile testing
- Compression testing
- Flexural testing
- Interlaminar shear strength
- Shear testing ($\pm 45^\circ$)
- Impact testing
- Fatigue testing
- Environmental resistance testing

Objectives

- Material quality control procedures and standards
- Getting to know standardized material tests

 Co-funded by the European Union

Why do we need Quality Control?

- ✓ To ensure materials meet safety and performance standards.
- ✓ To detect manufacturing defects early.
- ✓ To guarantee long-term durability and reliability.




Essential for critical industries like boatbuilding, aerospace, and automotive



 Co-funded by the European Union

ASTM & ISO Standards

- ASTM: American Society for Testing and Materials (US-based).
- ISO: International Organization for Standardization (global).



Property of ASTM



Property of ISO

They provide standardized testing methods to compare materials fairly.

  Co-funded by the European Union

Tensile testing



Purpose: Measures how much force is needed to pull a composite material apart until it breaks.

- ASTM D3039 and ISO 527-4 are standard methods for testing fiber-reinforced composites.
- A flat rectangular specimen is pulled lengthwise until failure.
- Results help determine tensile strength, modulus of elasticity, and strain at break.



Preparing a composite sample for tensile testing.

Crucial for understanding how composites behave under stretching forces, important for structural parts in boatbuilding like hulls, decks, or masts.

28

Compression testing



Purpose: Measures how much force a composite material can withstand when compressed before it buckles or fails.

- ASTM D6641 and ISO 14126 are standard methods for testing compressive strength of fiber-reinforced composites.
- The specimen is loaded lengthwise in compression using special fixtures (e.g., combined loading or shear loading).
- Evaluates material behavior under squeezing forces, including strength and stability.



Composite specimen placed in a fixture for compression testing.

Crucial for assessing how composites perform in boat structures like hulls, frames, and panels that face compressive loads during service.

29

Flexural testing



Purpose: Measures how much force is needed to bend a composite material until it breaks or deforms.

- ASTM D790 and ISO 14125 are standard methods for testing the flexural strength and stiffness of composites.
- The sample sits on two supports and is pressed down in the middle (3-point bending).
- Results show how well a material resists bending — indicating its rigidity and durability.



Set up for flexural testing using a 3-point bending fixture.

Essential for boat parts like decks, beams, and panels that face bending loads during operation.

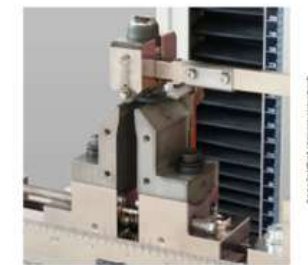
30

Interlaminar shear strength



Purpose: Measures how strongly the layers (plies) in a composite are bonded together.

- ASTM D2344 is the standard method used to test ILSS through a short beam bending test.
- A small beam is loaded in the center until the layers slide or separate.
- Helps assess the adhesion between layers, critical for avoiding delamination.



Short beam setup for testing the bonding between the composite layers.

Important for composites in boats, where strong bonding between layers ensures durability under repeated stress and vibration.

31

Shear testing ($\pm 45^\circ$)

Purpose: Measures how well a composite resists sliding forces between internal layers.

- ASTM D3518 is the standard method for testing in-plane shear strength and stiffness using $\pm 45^\circ$ laminate specimens.
- The test pulls a specimen cut at $\pm 45^\circ$ angles to create a pure shear condition.
- Results show how the material handles twisting or diagonal forces.



Important for composite parts in boats like hulls and panels, where angled loads from waves or torsion can cause shear stress.

Impact testing

Purpose: Simulates accidental hits or drops to see how a composite material absorbs and resists sudden impact.

- ASTM D7136 is the standard for impact testing using a falling weight method on composite panels.
- The test creates controlled damage, and then a Compression After Impact (CAI) test checks how the material performs afterward.
- Evaluates the material's damage resistance and ability to keep its strength after being hit.



Essential for real-world situations in boatbuilding — dropped tools, floating debris, or collisions can cause unexpected impacts.

Fatigue testing

Purpose: Measures how a composite behaves under repeated or fluctuating loads over time.

- ASTM D3479 is the standard method for determining the tension-tension fatigue behavior of fiber-reinforced polymer matrix composites.
- A specimen is repeatedly pulled and released at a controlled frequency until failure.
- Results help determine how many cycles a material can endure before it cracks or breaks.



Important for predicting the lifespan of composite parts in boats exposed to wave forces, engine vibrations, or cyclic loading.

Environmental resistance testing

Purpose: Assesses how composite materials perform under harsh environmental conditions like moisture, salt exposure, and fire.

- ASTM D570 – Water Absorption:

Measures how much water a material absorbs during immersion. Affects weight, strength, and stability in wet conditions.

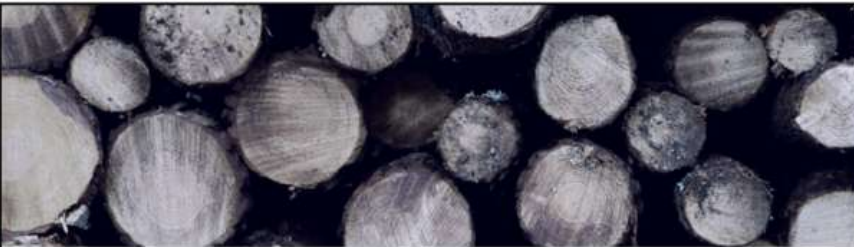
- ASTM B117 – Salt Spray (Corrosion):

Simulates long-term saltwater exposure. Evaluates corrosion resistance of materials and protective coatings.

- IMO FTP Code – Fire & Smoke Toxicity:

Tests flame spread, smoke density, and gas toxicity. Ensures fire safety compliance for marine applications.

Critical for boatbuilding, where materials must resist moisture, corrosion, and fire hazards over long service life.



Part 4

Factors affecting Mechanical Properties

Co-funded by the European Union

Topics

- Factors affecting material properties

Objective

- Getting to know which factors may affect material properties and how.

Co-funded by the European Union

Factors affecting mechanical properties

- Grain size
- Temperature
 - significant properties reduction in high temperatures
 - reduction of 10%, 50%, 90% in temperatures 90°C, 150°C, 200°C.
- Heat treatments
- Liquid environment presence
 - properties reduction
 - satisfactory protection through the use of gel coats.
- Atmospheric/ weather exposure
 - little impact
 - exposure to light, ultraviolet radiation, rain, frost.

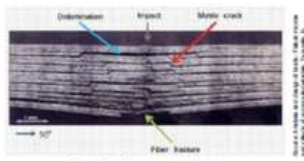


Vessel's exposure to frost

Co-funded by the European Union

Factors affecting mechanical properties

- Fiber properties
- Construction method
 - advanced methods $\Rightarrow$ small changes in properties
 - simple methods (hand lay-up) $\Rightarrow$ restricted quality and big changes in properties.
- Laminates' separation
- Polymerization rate

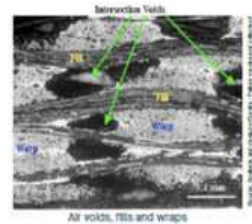


Depiction of mechanical failures

Co-funded by the European Union

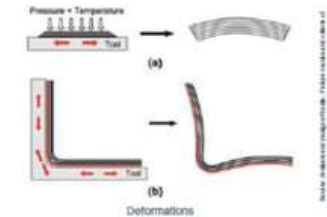
Factors affecting mechanical properties

- Conditions of storage
- Human factor
 - ✓ craftsman skill
 - ✓ fiber misalignment
 - ✓ poor resin distribution
 - ✓ air voids
 - ✓ ply wrinkling – foreign inclusions.



Factors affecting mechanical properties

- Remaining tensions
 - ✓ during the solidification process
 - ✓ different coefficient of thermal expansion of fibers and resin
 - ✓ possible rejection of the entire structure due to excessive deformations.



Quiz Time ?

What is the nature of the factors affecting the material mechanical properties?

- Mainly external, including handling procedures, human factor and weather
- Inherent material factors concerning the fibers orientation and structure
- A combination of internal and external elements, acting in multiple ways and dynamically.

Quiz Time ?

What is the nature of the factors affecting the material mechanical properties?

- Mainly external, including handling procedures, human factor and weather
- Inherent material factors concerning the fibers orientation and structure
- A combination of internal and external elements, acting in multiple ways and dynamically.



Part 5

Types of Material Failures

Co-funded by the European Union

Topics

- Types of material failures
- Failure in tension
- Modes in failure in tension of a unidirectional layer
- Examples of tensile failures
- Failure in compression
- Failure in bending
- Examples of failures in bending
- Shear failure
- Creep failure
- Fatigue

Objective

- Familiarization with material failures

Co-funded by the European Union

Types of material failures

What is 'failure'?

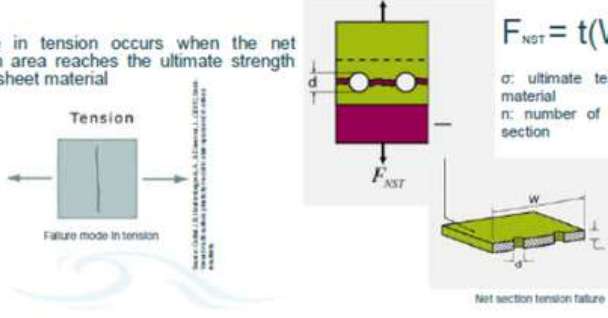


- ✓ Failure in tension
- ✓ Failure in compression
- ✓ Failure in bending
- ✓ Shear failure
- ✓ Fatigue
- ✓ Creep failure
- ✓ Impact

Co-funded by the European Union

Failure in tension

Failure in tension occurs when the net section area reaches the ultimate strength of the sheet material

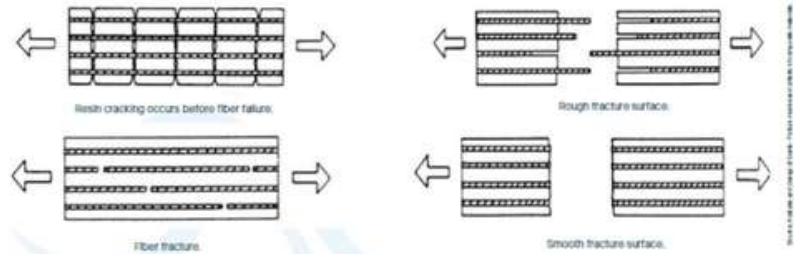


$$F_{NST} = t(W - n d) \sigma$$

σ : ultimate tensile strength of sheet material
 n : number of fasteners along the net section

Co-funded by the European Union

Modes of failure in tension of a unidirectional layer



Examples of tensile failures



Failure in compression

Compression failure usually occurs due to the development of compressive stresses greater than the allowable stresses.

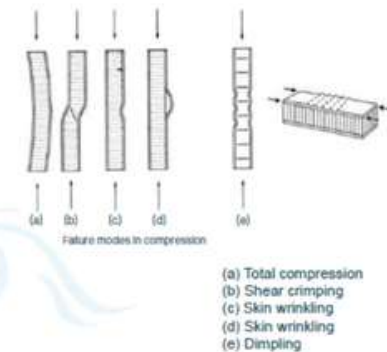
When a load is applied to a material, it exerts a force on the material's molecules, causing them to move closer together. As more force is applied, the molecules become increasingly compressed until they reach a point where they can no longer move any closer together. At this point, the material has reached its maximum compressive strength and will begin to deform or fail if additional force is applied.



Failure in compression

Factors affecting such failure:

- ✓ Non-complete fiber alignment, fiber adjacency
- ✓ Non-complete fiber-resin bonding
- ✓ Voids (entrapped air)

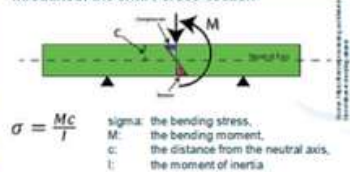




Co-funded by the
European Union

Failure in bending

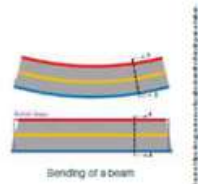
Failure in bending will occur when the bending moment is sufficient to induce tensile/compressive stresses greater than the yield stress of the material throughout the entire cross-section



Schematic of bending stress in a loaded beam

Failure Mechanisms:

- ✓ **Yielding of extreme fibers:** causes gradual sagging, eventually rendering the material ineffective.
- ✓ **Buckling of compression fibers:** occurs sideways, leading to sudden failure; primary or secondary cause of failure
- ✓ **Excessive shearing stresses:** causes primary failure or secondary failure
- ✓ **Localised Yielding of the overstressed portions:** Usually occur near bearing blocks that transmit concentrated loads or reactions to beams



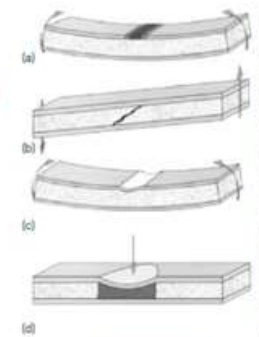
Bending of a beam



Co-funded by the
European Union

Examples of failures in bending

- a) Failure of the compressed casing
- b) Failure of the core due to shear
- c) Formation of inward wrinkling of the core, accompanied by local crushing
- d) Local rushing of the core.



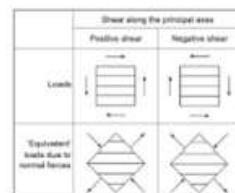
Failure modes in bending

Co-funded by the
European Union

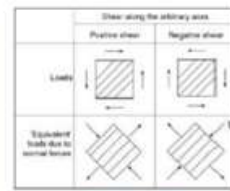
Shear failure

Shear failure refers to a type of material failure that occurs when a material experiences shear stress beyond its shear strength.

- ✓ One of the most critical failures.
- ✓ The occurrence of shear failure in a beam can lead to a sudden structural collapse
- ✓ A possible variation in strength between positive and negative shear depends on the direction of loading
- ✓ Shear can occur either along the principal axes or along arbitrary axes.



Shear failure.



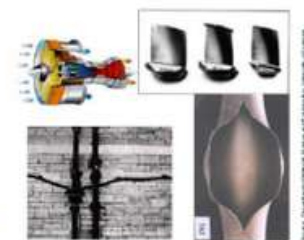
Modes of shear failure.



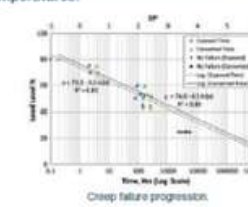
Co-funded by the
European Union

Creep failure

Creep failure caused by thermal stress. It has the characteristics of loading since a very early age, induced by variable compressive and tensile stress, and changing temperatures.



Modes of creep failure.



- The time-dependent deterioration of stress is based on:
- ✓ High temperature
 - ✓ Exposure to moisture
 - ✓ Exposure to acidic environments
- It appears when high temperatures develop, such as:
- ✓ decks due to sunlight
 - ✓ machine foundations
 - ✓ submarines with long submersion times
 - ✓ piping lines



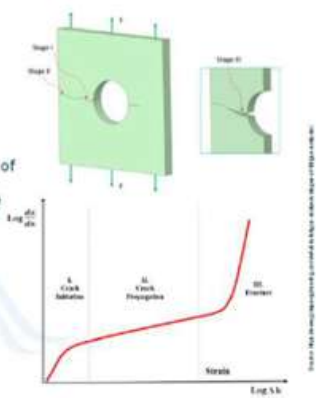
Co-funded by the
European Union

Fatigue

Fatigue is a failure mechanism that involves the cracking of materials and structural components due to **cyclic** (or fluctuating) stress. While applied stresses may be tensile, compressive or torsional, crack initiation and propagation are due to the tensile component.

3 stages of fatigue failure:

- Stage I: Crack Initiation
- Stage II: Crack propagation
- Stage III: Failure



Stages of fatigue failure.



Part 6

Mechanical Properties, Failures and Deep Tech Materials



Co-funded by the
European Union

Topics

- Recap: why mechanical properties matter
- Typical failures in composite boat structures
- Engineering response to failure
- Mechanical properties, failures and deep-tech materials
- Potential of deep-tech materials in boatbuilding to prevent failure
- Deep-tech materials: Nanomaterials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Metamaterials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Quantum materials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Advanced polymers and composites in boatbuilding
- Deep-tech materials: Bio-inspired and smart materials in boatbuilding
- Deep-tech materials: Energy and sustainability materials in boatbuilding
- Deep-tech materials: High-value added metals and materials in boatbuilding

Objective

- Exploring the application of knowledge about material mechanical properties, especially in the context of deep-tech materials.



Co-funded by the
European Union

Recap: why mechanical properties matter

- Performance and safety:**
Mechanical properties like strength, stiffness, and toughness determine how a composite performs under load and stress—critical for safety in demanding environments like marine applications.
- Durability and reliability:**
Understanding fatigue resistance, impact behavior and mechanical failures helps ensure long-term durability and consistent performance.
- Design optimization:**
Knowledge of mechanical behavior enables engineers to design lighter, more efficient structures retaining integrity.
- Material selection:**
Matching the right mechanical properties to the application ensures the composite will perform as expected.
- Cost Efficiency:**
Reducing overengineering and selecting the right materials for the right job can lower manufacturing costs while maintaining quality.



Co-funded by the
European Union

Typical failures in composite boat structures

- **Delamination**
 - ✓ Separation between composite layers due to poor bonding or repeated loading.
 - ✓ Often caused by impact, fatigue or manufacturing defects.
- **Matrix cracking**
 - ✓ Cracks form in the resin matrix between fibers.
 - ✓ Reduces load transfer and can lead to further damage.
- **Fiber Breakage**
 - ✓ Occurs when individual fibers exceed their tensile or compressive limits.
 - ✓ Common in areas under high stress or impact.
- **Debonding**
 - ✓ Loss of adhesion between fiber and matrix or between composite and core material.
 - ✓ Weakens structural integrity.



60

Typical failures in composite boat structures

- **Core shear failure (in Sandwich structures)**
 - ✓ The core material fails under shear loads, especially in high-impact or high-load zones.
 - ✓ Can lead to face sheet separation or crushing.
- **Buckling**
 - ✓ Compressive loads cause structural instability in thin laminates or unsupported panels.
 - ✓ Often seen in hull bottoms or deck panels under pressure.
- **Fatigue failure**
 - ✓ Progressive damage from repeated loading/unloading cycles.
 - ✓ Can initiate matrix cracks or delamination over time.



61

Engineering response to failure

- **Identification of the problem**
Definition of the failure type and location.
- **Understanding of the cause**
Answering the question: "Was it design, material choice, loading or manufacturing?"
- **Refining the design**
Adjustment of fiber direction, laminate thickness or structures support.
- **Improvement of material use**
Choice of tougher resins, stronger fibers or more resilient core materials.
- **Improvement of processes**
Use of alternative processes which are more suitable.
- **Monitoring and maintenance**
Use of frequent inspections to detect issues early and extend the boat's life.



62

Mechanical properties, failures and deep-tech materials

Towards the future of composites in maritime design

- **What are deep-tech materials?**
Deep-tech materials are advanced materials that emerge from cutting-edge scientific research and technological breakthroughs. Unlike traditional materials, which are often well understood and widely used, deep-tech materials are defined not just by their composition or application, but by the high level of complexity, uncertainty, and innovation involved in their development.
- **Why they matter in boatbuilding?**
Deep knowledge of mechanical properties and failures builds confidence in boat construction. By combining this knowledge with emerging material technologies, we open the door to creating more advanced composites tailored for marine performance.
- **How sustainability and impact are addressed?**
Choosing the right material for a boat is about much more than just strength or weight. Each decision has an impact – on the environment, on health, on recyclability, and on cost. Sustainability is a core part of responsible boatbuilding. Responsible boatbuilding means prioritizing materials that reduce environmental impact while meeting performance demands.



63

Potential of deep-tech materials in boatbuilding to prevent failure

- **Stronger, tougher composites**
Increased resistance to cracking, impact and delamination.
- **Improved fatigue performance**
Withstand repeated loads over time.
- **Smart damage detection**
Materials with built-in sensors enable early issue detection.
- **Tailored properties**
Advanced design allows materials to meet specific load and performance needs.
- **Greater environmental resistance**
Better protection against moisture, salinity, UV and temperature changes.



28

Deep-tech materials: Nanomaterials in boatbuilding

Mechanical Properties	High strength-to-weight ratio, fracture resistance, fatigue life enhancement
Surface Functions	Corrosion resistance, anti-fouling, UV protection, self-cleaning
Thermal/Optical Properties	UV blocking, heat dissipation, thermal insulation
Applications in Yachts	Nano-reinforced hulls, anti-fouling coatings, nanostructured UV-protective finishes, advanced sensor systems, nanocoatings on mechanical parts
Emerging Uses	Smart coatings, nanogenerators, lightweight energy storage (batteries, supercapacitors)



29

Deep-tech materials: Metamaterials in boatbuilding

Material Classification	Advanced Engineered Materials (subset of functional materials)
Division into Groups	• Mechanical Metamaterials – optimized for strength, flexibility, etc. • Acoustic Metamaterials – control of sound waves; • Thermal Metamaterials – manipulation of heat flow; • Electromagnetic Metamaterials – control of EM/radar waves; • Optical Metamaterials – light wave control (cloaking, lenses)
Mechanical Properties	• High strength-to-weight ratio • Auxetic behavior (negative Poisson's ratio) • High stiffness or controlled deformability • Energy absorption • Tunable elasticity and density depending on geometry
Application Cases	• Yacht hulls: lightweight, impact-resistant structures • Noise insulation: cabins with acoustic metamaterials • Radar stealth: reduced detectability of military vessels • Thermal management: optimized interior climate control • Hydrodynamic coatings: drag reduction, anti-biofouling • Energy harvesting: from wave or vibration-induced deformation
Material Classification	Advanced Engineered Materials (subset of functional materials)



30

Deep-tech materials: Quantum materials in boatbuilding

Material Classification	Topological insulators, Weyl and Dirac semimetals, Mott insulators, heavy fermion systems, unconventional superconductors, spin liquids
Division into Groups	Grouped by dominant quantum effects: • Topological states • Strong electronic correlations • Quantum spin and entanglement phenomena • Generally brittle and sensitive to defects
Mechanical Properties	• Low ductility and mechanical strength • Not suitable for structural or load-bearing use • Often require encapsulation or substrate stabilization
Application Cases	• Quantum sensors (e.g. NV centers) for environmental monitoring or inertial navigation • Superconductors for high-efficiency energy subsystems in electrified propulsion • Thermoelectric quantum materials for onboard waste heat recovery



31

Deep-tech materials: Advanced polymers and composites in boatbuilding

Material Classification	Polymer composites are a composition of at least two materials: 1. Polymer plastics, the resin 2. Organic and / or inorganic fibre reinforcements
Division into Groups	• Resins / Matrixes / Plastics / Glue: ◦ Thermosets / Thermosetting polymer (e.g. Epoxy, Polyester) ◦ Thermoplastics (e.g. Acrylics) • Fibre reinforcements: ◦ Inorganic - Mineral (e.g. Volcanic, Basalt, Glass) ◦ Organic: Plant fibres (e.g. Flax, Hemp, Bamboo) / Synthetic fibres (e.g. Carbon, Aramid)
Mechanical Properties	• Lightweight • High-strength, High-stiffness • Versatility in application and in design • Low manufacturing costs
Application Cases	Hull and deck structure, Inner hull, Shower trays, Interior arrangement



10

Deep-tech materials: Bio-inspired and smart materials in boatbuilding

Material Classification	Bio-inspired (functionally nature-derived) / Smart (stimuli-responsive)
Division into Groups	Bio-inspired by surface (e.g., lotus, sharkskin), structure (e.g., fibres, cuticle), or function
Mechanical Properties	Varying: often not load-bearing; some materials offer vibration damping, wear and impact resistance
Limitations	Durability, lack of certification, limited structural applications, scalability
Application Cases	Anti-fouling coatings, composites, sensor-embedded laminates, self-healing coatings



11

Deep-tech materials: Energy and sustainability materials in boatbuilding

Material Classification	Recycled PET cores, bio-based epoxy resins, recyclable thermoplastic resins, recycled carbon fibers
Division into Groups	• Core materials: recycled PET foams for sandwich structures • Resin systems: bio-based and recyclable thermoplastics • Reinforcements: reclaimed fibers used in composites
Mechanical Properties	• Good structural stiffness and insulation (PET core) • Low viscosity and infusion compatibility (resins) • Recyclable or reusable through thermal recovery (thermoplastics) • Comparable strength to virgin carbon fiber (recycled fibers)
Application Cases	• Use of PET cores in hull and deck sandwich panels • Infusion of structures with recyclable or bio-based resins • Non-critical components made from recycled carbon fibers • Integration in energy-optimized yachts with solar, hybrid, or biofuel systems



12

Deep-tech materials: High-value added metals materials in boatbuilding

Material Classification	Aluminium alloys : aluminium-magnesium alloys and aluminium-magnesium-silicon alloys; graphene added alloys (experimental)
Division into Groups	• Aluminium alloys ◦ Wrought alloys ◦ Strain hardening ◦ Age hardening • Casting alloys ◦ Silicon alloys ◦ Magnesium alloys • Graphene added alloys (still experimental)
Mechanical Properties	• Good corrosion resistance • High weldability • Easy to cut and form • Good strength/weight ratio
Application Cases	Hull, Frame, Pillars, Propeller



13

References

1. ZwickRoell. Tensile testing of fiber-reinforced composites (ISO 527-4, ISO 527-5). <https://www.zwickroell.com/industries/composites/iso-527-4-iso-527-5-tensile-testing-of-fiber-reinforced-composites/>
2. ZwickRoell. Compression testing (ASTM D6641, ISO 14126). <https://www.zwickroell.com/industries/composites/combined-loading-compression-iso-14126-astm-d6641/>
3. ZwickRoell. Flexure testing of composite materials. <https://www.zwickroell.com/industries/materials-testing/flexure-test/>
4. ZwickRoell. Interlaminar shear strength (ILSS). <https://www.zwickroell.com/industries/composites/interlaminar-shear-strength-ilss/>
5. Intertek. Shear Testing (ASTM D3518). <https://www.intertek.com/shear-testing/astm-3518/>
6. ZwickRoell. Impact testing and CAI – Compression After Impact. <https://www.zwickroell.com/industries/composites/compression-after-impact-cai/>
7. ASTM. ASTM D3479/D3479M-19: Tension-Tension Fatigue of Polymer Matrix Composites. https://store.astm.org/d3479_d3479m-19.html
8. ASTM. ASTM D570-22: Water Absorption of Plastics. <https://store.astm.org/d0570-22.html>
9. ASTM. ASTM B117-19: Salt Spray (Fog) Testing. <https://store.astm.org/b0117-19.html>
10. Measurlabs. IMO FTP Code Part 2 – Smoke Toxicity Testing. <https://measurlabs.com/products/imo-2010-ftp-code-part-2-smoke-toxicity/>

References

11. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials Science and Engineering: An Introduction (10th ed.). Wiley.
12. Subramanian, S. M. (2020). Mechanical Properties of Materials: Definition, Testing and Application. International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering. 6, 28-38. 10.20431/2454-9711.0602003.
13. <https://testbook.com/physics/properties-of-materials> - last access 04/07/25
14. <https://apcomposites.com.au/materials-science/materials-engineering/material-properties/> - last access 04/07/25
15. Colliat, J.B., Ibrahimbegovic, A., & Davenne, L. (2005). Saint-Venant multi-surface plasticity model in stain space and in stress resultants
16. Static Failure Mode Prediction Models – Mechanically Fastened Joints, TUDelft Presentation.
17. Analysis and design of boats – Failure modes and criteria of composite materials. Tsouvalis, N., NTUA Presentation.
18. <https://construx.io/tags/compression> - last access 04/07/25
19. <https://web.mst.edu/thomas/classes/2211/lessons/failure/bending/index.html> - last access 04/07/25
20. <https://inspectioneering.com/tag/fatigue#:~:text=Fatigue%20is%20a%20failure%20mechanism,due%20to%20the%20tensile%20component> - last access 04/07/25
21. He Zhu, Yu Hu, Rui Ma, Juan Wang, Qingbin Li. (2021) Concrete thermal failure criteria, test method, and mechanism: A review
22. <http://users.uoi.gr/barkoul/%c5%e9%f3%e1%e3%9%e3%de%20%f3%4%e7%ed%20%e5%0%e9%f3%4%de%ec%e7%20%4%f9%ed%20%15%eb%e9%ea%fe%ed%c1%f3%4%ef%7%df%e1%20%4%f9%ed%20%15%eb%e9%ea%fe%ed.pdf> - last access 04/07/25



