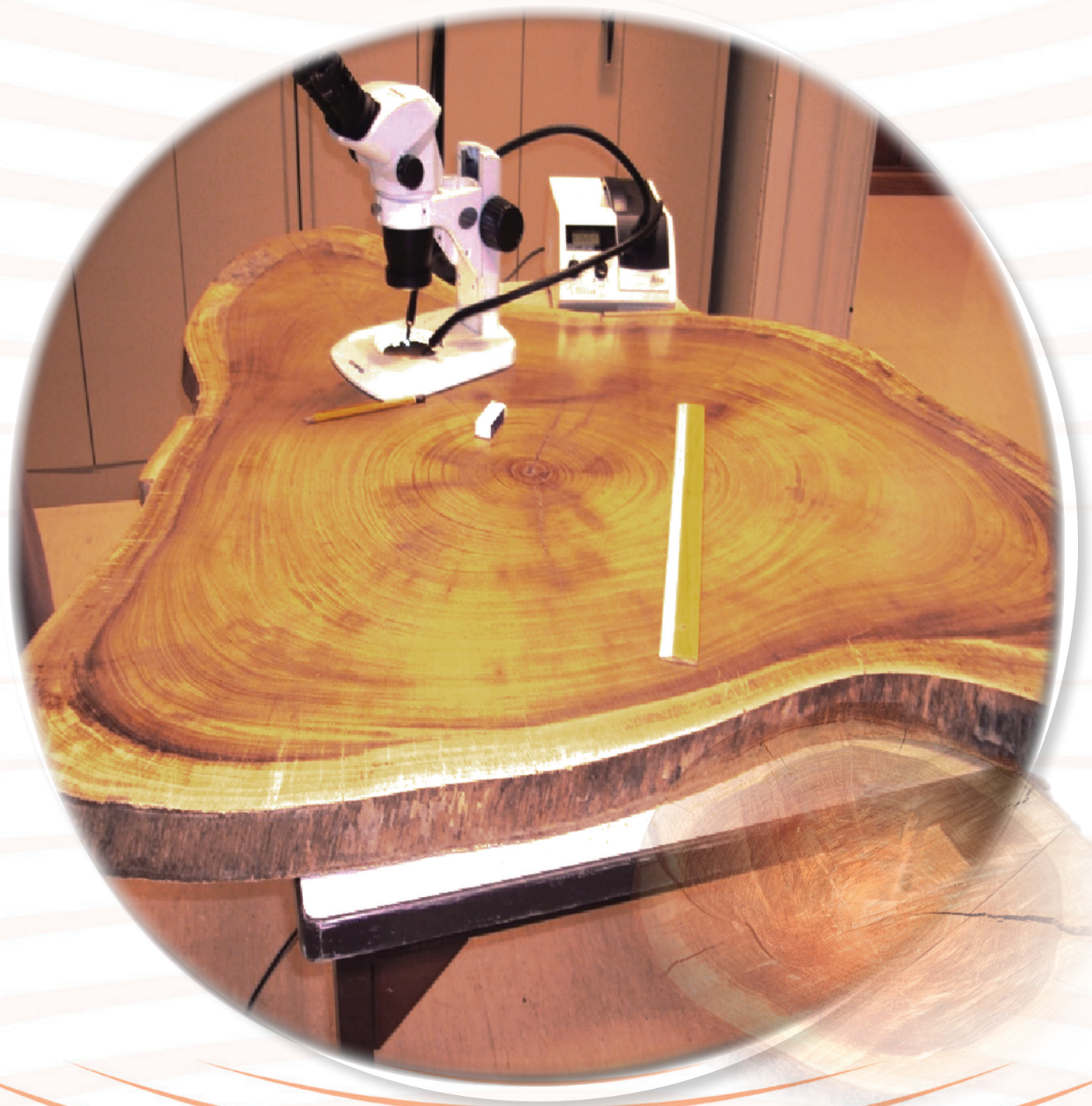


PROGRAMME UNIVERSITAIRE

# MASTER RECHERCHE EN SCIENCES DU BOIS





---

**Le RIFFEAC (Réseau des Institutions de Formation Forestière  
et Environnementale d’Afrique Centrale) remercie tous les  
acteurs qui ont contribué à la réalisation de cet ouvrage**

---

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

### PRESENTATION DU PROGRAMME

MASTER RECHERCHE EN SCIENCES DU BOIS .....	7
--	---

### PLAN DE COURS

ANATOMIE DU BOIS .....	18
ULTRA STRUCTURE DU BOIS .....	23
PHYSIQUE DU BOIS.....	28
PHYSIQUE DU BOIS AVANCE .....	34
PHYSIQUE DU BOIS AVANCE .....	40
CHIMIE DU BOIS II .....	46
MECANIQUE DU BOIS I .....	50
MECANIQUE DU BOIS II.....	55
MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE.....	59
BIOSTATISTIQUE .....	65
INTRODUCTION À LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE.....	71
INTRODUCTION A LA TRANSFORMATION DU BOIS .....	77
SCIAGE DES BOIS.....	82
DÉROULAGE ET TRANCHAGE .....	89
USINAGE I (TECHNIQUE D’AFFUTAGE DES SCIES ET COUTEAUX) .....	94
SÉCHAGE DU BOIS I .....	101
SECHAGE DU BOIS II.....	107

---

<b>TRAITEMENT ET PRÉSERVATION DU BOIS .....</b>	<b>114</b>
<b>ADHESIFS POUR BOIS ET PRODUITS DE FINITION .....</b>	<b>121</b>
<b>BIOENERGIE, COGENERATION ET CARBONISATION .....</b>	<b>127</b>
<b>ANNEXE A : DESCRIPTIFS ET CONTENUS DES ENSEIGNEMENTS (SAVOIRS ET SAVOIRS-FAIRE) .....</b>	<b>132</b>

---

## **PRESENTATION DU PROGRAMME**

---

## MASTER RECHERCHE EN SCIENCES DU BOIS

RESPONSABLE

DIRECTEUR DU PROGRAMME :

FACULTÉ DE RATTACHEMENT :

### Orientation générale

Ce cycle de formation en Industrie du bois est en phase avec le cinquième axe stratégique du Plan de Convergence de la Commission des Forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC), actualisé en 2005 intitulé : « *valorisation durable des ressources forestières* », et qui inclut la transformation du bois.

Parmi les résultats attendus de cet axe stratégique, les États membres de la COMIFAC sont encouragés à favoriser « *la transformation locale de la quasi-totalité de la production de grumes et l'augmentation du nombre d'emplois créés dans la filière bois-transformation* ». Dans le même sens, le Plan de Convergence recommande que les Institutions existantes dans la sous-région assurent la formation des professionnels des différentes spécialités nécessaires au développement des activités forestières sur la base de programmes actualisés et harmonisés (axe stratégique 7).

Cette formation est destinée aux pays du Bassin du Congo, membre de l'Organisation Internationale des Bois Tropicaux (OIBT), qui prônent « *une transformation accrue et plus poussée de bois tropicaux provenant de sources durables dans les pays membres producteurs, en vue de stimuler l'industrialisation de ces pays et d'accroître ainsi leurs possibilités d'emplois et leurs recettes d'exportations* ».

En référence au volet « Gabon Industriel » de la politique de l'émergence, l'accent est mis sur l'importance que les matières premières soient transformées localement. C'est ainsi que le Gouvernement gabonais a décidé le 05 novembre 2009 d'interdire l'exportation de grumes, à partir du 01 janvier 2010. La décision a été effective à partir du 15 mai 2010. La mesure vise à favoriser l'émergence des industries locales du bois et à permettre au Gabon d'exporter des produits transformés, afin de créer de l'emploi et de la valeur ajoutée.

Ces nouvelles formations vont permettre de pallier en partie à la carence en ressources humaines aussi bien dans l'administration que dans le secteur privé de la transformation du bois et activités connexes.



L'élaboration de ce programme et de ses plans de cours a été réalisée avec l'accompagnement de l'Université Laval au Canada, agissant à titre de partenaire technique du RIFFEAC, dans le cadre du Projet d'appui au Programme élargi de formation en gestion des ressources naturelles dans le bassin du Congo (PEFOGRN-BC).

## Objectifs

Le **Master Recherche en Sciences du bois** a pour objectif :

- De permettre aux étudiants d'acquérir des connaissances nouvelles dans des domaines de pointe des Sciences du bois. C'est l'initiation à la recherche et ils seront davantage spécialisés dans leur champ d'expertise à travers un projet de recherche et la rédaction d'un mémoire.
- De donner aux étudiants des connaissances fondamentales sur les matières ligneuses et fibreuses. Les outils spécifiques fournis leur permettront d'effectuer une transposition de leurs connaissances scientifiques aux particularités de ces matériaux.

*N.B. : Cette formation ne mène pas à la formation d'un ingénieur des procédés en Génie du bois.*

## Objectifs spécifiques

Ce programme a pour objectifs spécifiques d'amener l'étudiant à acquérir des connaissances satisfaisantes en Sciences du Bois et de l'initier à la recherche dans l'une des spécialisations des Sciences du Bois (ex. : physique, chimie, anatomie, mécanique, etc.).

Les compétences principales à développer chez l'étudiant sont :

1. De comprendre les méthodes, les concepts de base et les principes fondamentaux propres aux sciences du bois ;
2. D'acquérir une certaine autonomie intellectuelle : sens critique, méthode de travail, démarche personnelle dans l'approfondissement des connaissances ;
3. D'acquérir des connaissances fondamentales dans chacune des disciplines suivantes :
  - a. Connaissances approfondies en sciences du bois (exemple : anatomie, chimie, physique et mécanique du bois) ;
  - b. Connaissances générales sur les procédés en transformation du bois ;
  - c. Connaissances complémentaires.
4. Développer la maturité humaine nécessaire au bon usage de ses connaissances et plus particulièrement l'éthique et la déontologie, le souci de l'exactitude, une ouverture d'esprit, pensée critique et innovatrice, esprit de collaboration;

5. D'acquérir la démarche scientifique dans l'acquisition de connaissances, la capacité d'analyse et de synthèse, le mode d'expression orale et écrite propre à tout scientifique;
6. De démontrer un intérêt et des capacités de continuer à enrichir ses connaissances et sa culture générale à partir de sa formation initiale.

### Nom du diplôme

Ce programme conduit à l'obtention du grade de **Master Science (M.Sc.) en Sciences du Bois**. Dans les systèmes d'enseignement supérieur utilisant l'appellation LMD, le diplôme délivré sera l'équivalent du **Master**.

### Clientèle cible

- Professionnels forestiers de la sous-région du bassin du Congo justifiant d'une formation minimale en foresterie ou autres sciences connexes (minimum Bac +3).
- Étudiants ayant réussi avec succès une formation de base en foresterie ou autres sciences connexes (minimum Bac +3).

\* *Les conditions d'admission sont détaillées à la section « Admission ».*

### Perspectives d'emploi et/ou poursuite d'études

Les débouchés potentiels se situent au sein d'organisations liées directement au matériau bois :

- Centre ou laboratoire de recherche;
- Enseignement secondaire et supérieur ;
- Administration publique ou parapublique;
- Secteur privé.

Les connaissances approfondies acquises sur le matériau bois et les fibres permettront aux titulaires de cette spécialité d'entreprendre des études doctorales en Sciences du Bois.

### Admission

Ces programmes acceptent de nouveaux candidats au début de chaque année académique. L'admission à ce programme nécessite au minimum une formation universitaire préalable de trois ans (i.e. BAC +3) dans les domaines des sciences forestières et/ou connexes.

### Conditions d'admission

Chaque demande d'admission est étudiée par un jury (Comité scientifique de la spécialité) qui tient compte du dossier scolaire et de la disponibilité d'accueil. Le candidat doit fournir les pièces suivantes pour que sa demande d'admission soit analysée par le jury :

- Copie de diplôme ou attestation d'obtention du diplôme certifiée par les autorités universitaires de son pays ;
- Les relevés de notes de l'année d'obtention du diplôme ;
- Le curriculum vitae ;
- Lettre de motivation ;
- Documents justifiant la ou les sources de financements ;
- Deux (2) lettres de recommandation des enseignants ou des chefs hiérarchiques pour les professionnels.

### *Choix du sujet de recherche*

L'étudiant doit être fixé sur le choix de son directeur de recherche dès son inscription au programme. Il est de la responsabilité de l'étudiant de prendre contact avec un professeur dans le domaine qui l'intéresse. Sur invitation d'un professeur à faire sa demande d'admission, l'étudiant définit les grandes lignes du thème d'études et de recherche qu'il pense pouvoir développer. Au moment de faire sa demande d'admission, le candidat doit indiquer le champ de recherche dans lequel il entend se spécialiser. Le projet de recherche précis de l'étudiant doit être approuvé par le Comité scientifique de la spécialité au début de la deuxième année de formation (Semestre 3), dans le cadre du cours « Activité de recherche 2 ».

### **Organisation de la formation**

Ce programme est d'une durée de 2 ans, soit 4 semestres de 30 crédits et se présente comme suit :

#### **1<sup>er</sup> semestre : (tous les cours sont obligatoires)**

- 4 cours de base sur le Matériau Bois
- 1 cours en Procédés de transformation : Introduction à la transformation du bois
- 1 cours de Méthodologie de la recherche

#### **2<sup>ème</sup> semestre :**

- 1 cours obligatoire de statistiques : Bio-statistiques
- 1 cours obligatoire en Procédés de transformation du bois : Séchage du bois
- 1 cours obligatoire de Séminaire
- Activité de recherche 1 : Conception du projet de recherche
- 2 cours au choix. L'étudiant doit choisir 1 cours optionnel dans chacun des 2 modules :
  - Cours avancés sur le Matériau Bois (4 cours);

- Cours en Procédés de transformation du bois<sup>1</sup>.

**3<sup>ème</sup> semestre :**

- 1 cours d'ingénierie obligatoire : Introduction à la recherche opérationnelle
- Activité de recherche 2 : Présentation et validation du projet de recherche
- Activité de recherche 3.1 : Réalisation du projet de recherche
- 1 cours au choix parmi les cours optionnels en Procédés de transformation du bois.

**4<sup>ème</sup> semestre :**

- Activité de recherche 3.2 : Réalisation du projet de recherche (poursuite)
- Activité de recherche 4 : Rédaction du mémoire (thèse)

N.B. : La liste complète des cours est présentée à la section suivante.

*Exigences d'obtention du diplôme*

Les étudiants doivent avoir complété avec succès tous les cours obligatoires (40 crédits), 5 cours optionnels (20 crédits) et l'ensemble des activités de recherche (60 crédits), incluant la soutenance du mémoire qu'ils défendent devant un jury.

*Contact avec le milieu professionnel*

L'invitation de conférenciers œuvrant en Sciences du bois et l'organisation de visites en milieu professionnel sont hautement encouragées. Ces séances d'imprégnation permettent au stagiaire d'acquérir des expériences pertinentes dans son futur secteur de travail. Les industriels peuvent également proposer des problématiques de recherche en lien avec les connaissances du « matériau bois ».

*Activités de recherche et mémoire*

Tout au long du programme du Master Recherche en Sciences du Bois, l'étudiant doit réaliser un projet de recherche permettant d'apporter des connaissances nouvelles dans une des spécialisations des Sciences du Bois. À travers cet exercice, l'étudiant doit notamment démontrer qu'il connaît bien son sujet de recherche, qu'il maîtrise la démarche scientifique et qu'il détient la capacité d'analyse et de synthèse requise pour conduire des recherches dans le domaine des Sciences du Bois. Les activités de recherche sont une composante importante de la formation; la moitié des crédits de cours leur sont attribués (60 crédits).

---

<sup>1</sup> L'offre de cours optionnels peut varier selon l'institution de formation. Le cours « *Sujet spécial en Sciences du bois* » permet de diversifier les thématiques enseignées si l'offre de cours est restreinte.

Subdivisées en quatre étapes réparties sur trois semestres, les activités de recherche (AR) permettent à l'étudiant de progresser dans son projet de recherche individuel. Plus précisément, les résultats attendus pour chacune des étapes sont :

**AR 1 - Conception du projet de recherche** : L'étudiant réalise une revue de littérature bibliographique, précise la problématique et énonce les hypothèses et les objectifs sur lesquels reposent son projet de recherche. L'étudiant élabore une méthodologie appropriée pour la réalisation de son projet de recherche et précise les analyses statistiques qui seront faites.

**AR 2 – Présentation et validation du projet de recherche** : L'étudiant finalise le travail effectué précédemment. Au terme de ce cours, l'étudiant doit présenter son projet devant un jury afin d'obtenir l'approbation du comité scientifique de la spécialité.

**AR 3.1 – Réalisation du projet de recherche** : L'étudiant prépare les aspects logistiques de son projet de recherche et réalise son projet de recherche. Il collecte, analyse et interprète les données servant à la rédaction du mémoire. Il dépose un rapport d'avancement de ses travaux au terme du semestre.

**AR 3.2 – Réalisation du projet de recherche (poursuite)** : L'étudiant finalise la collecte, l'analyse et l'interprétation des données servant à la rédaction du mémoire.

**AR 4 – Rédaction du mémoire (thèse)** : Au terme de son projet, l'étudiant doit déposer un mémoire qui doit être présenté et soutenu publiquement devant un jury, composé minimalement de l'équipe de professeurs superviseurs jouant le rôle de rapporteur, de l'équipe de professeurs examinateurs qui doit assurer une évaluation critique de l'étude sous l'arbitrage d'un Président de jury.

La part réservée à la réalisation du projet de recherche (AR 3.1 et 3.2) est d'une durée variable, d'environ 6 mois.

### *Liste des cours*

La liste des cours obligatoires et optionnels et le nombre de crédits attribués aux cours sont présentés au tableau 1. Parmi les cours listés ici-bas, 8 sont obligatoires (40 crédits), 4 sont optionnels (16 crédits) et 4 activités de recherche sont à réussir, incluant la rédaction d'un mémoire (60 crédits).

La grande majorité des cours proposés dans le programme de Master Recherche en Sciences du bois sont inter reliés les uns aux autres; ils doivent être offerts dans une chronologie bien déterminée. Les contenus minimum et les objectifs spécifiques (Savoirs et Savoirs-faires) de chaque cours sont précisés à l'annexe A.

**Tableau 1. Liste des cours obligatoires et optionnels du Master Recherche en Sciences du bois.** (Les cours optionnels sont marqués d'un astérisque (\*). Lorsqu'il est possible qu'ils soient enseignés à plusieurs semestres, nous avons fusionné les cellules ensemble pour l'indiquer).

CODE COURS	Intitulés de cours	Pré-requis	Semestres (nb de crédits)			
			1	2	3	4
<b>SBO 100</b>	<b>Connaissances « Matériau Bois »</b>					
<b>SBO101</b>	Anatomie du bois		6			
<b>SBO102</b>	* Ultra structure du bois	<b>SBO 101</b>		4		
<b>SBO103</b>	Physique du bois I ( <i>densité, humidité, équilibres hygroscopiques</i> )		6			
<b>SBO104</b>	* Physique avancée du bois	<b>SBO 103</b>		4		
<b>SBO105</b>	Chimie du bois I ( <i>composantes de base</i> )		6			
<b>SBO106</b>	* Chimie du bois II	<b>SBO 105</b>		4		
<b>SBO107</b>	Mécanique du bois		6			
<b>SBO108</b>	* Mécanique du bois II	<b>SBO 107</b>		4		
	<b>ST crédits obligatoires « SBO 100 Matériau Bois »</b>		<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>SBO 200</b>	<b>Méthodologie de la recherche et statistiques</b>					
<b>SBO 201</b>	Méthodologie de la recherche		2			
<b>SBO 202</b>	Bio-statistiques	<b>Prob et stat</b>		4		
	<b>ST crédits obligatoires « SBO 200 Méthodologie et Statistiques »</b>		<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>SBO300</b>	<b>Connaissances « Ingénierie »</b>					
<b>SBO 301</b>	Introduction à la recherche opérationnelle				6	
	<b>ST crédits obligatoires « SBO 300 Ingénierie »</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>0</b>
<b>SBO 400</b>	<b>Connaissances « Procédés de transformation »</b>					
<b>SBO 401</b>	Introduction à la transformation du bois		4			
<b>SBO 402</b>	* Transformation primaire du bois - sciage	<b>SBO 401</b>		4		
<b>SBO 403</b>	* Transformation primaire	<b>SBO</b>		4		

	du bois - déroulage et tranchage	<b>401</b>				
<b>SBO 404</b>	* Usinage I : <i>technique d'affutage (scies, couteaux)</i>	<b>SBO 103</b>		<b>4</b>		
<b>SBO 405</b>	Séchage du bois - 1	<b>SBO 103</b>		<b>6</b>		
<b>SBO 406</b>	* Séchage du bois - 2	<b>SBO 405</b>			<b>4</b>	
<b>SBO 407</b>	* Traitement et préservation du bois	<b>SBO 103, SBO 105</b>		<b>2</b>		
<b>SBO 408</b>	* Adhésifs et produits de finition pour le bois			<b>4</b>		
<b>SBO 409</b>	* Bioénergie, cogénération et carbonisation			<b>4</b>		
<b>SBO 410</b>	* Sujet spécial en Sciences du bois			<b>2</b>		
<b>SBO 411</b>	* Sujet spécial en Sciences du bois			<b>4</b>		
	<b>ST crédits obligatoires « SBO 400 Procédés de transformation »</b>		<b>4</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>SBO 500</b>	<b>Séminaire</b>					
<b>SBO 501</b>	Séminaire			<b>2</b>		
	<b>ST crédits obligatoires « SBO 500 Séminaire »</b>		<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>SBO 600</b>	<b>Activités de recherche</b>					
<b>SBO 601</b>	Activité de recherche 1 - Conception du projet de recherche			<b>10</b>		
<b>SBO 602</b>	Activité de recherche 2 – Présentation et validation du projet de recherche	<b>SBO 601</b>			<b>10</b>	
<b>SBO 6031</b>	Activité de recherche 3.1 – Réalisation du projet de recherche	<b>SBO 602</b>			<b>10</b>	
<b>SBO 6032</b>	Activité de recherche 3.2 – Réalisation du projet de recherche - poursuite	<b>SBO 6031</b>				<b>15</b>
<b>SBO 604</b>	Activité de recherche 4 – Rédaction du	<b>SBO 6031</b>				<b>15</b>

Master Recherche en Sciences du bois

	mémoire (thèse)					
	<b><i>ST crédits obligatoires « Recherche »</i></b>		<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
	<b><i>ST crédits de cours « Obligatoires »</i></b>		<b>30</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>30</b>
	<b><i>Crédits « Optionnels » - cours au choix (4 cours)</i></b>		<b>0</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>0</b>
	<b>GRAND TOTAL</b>		<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>



**PLAN DE COURS**

## ANATOMIE DU BOIS

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>6</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

L'anatomie permet de comprendre la structure visuelle, microscopique et l'aspect macroscopique des bois afin d'en déterminer l'origine botanique. Elle permet de comprendre les défauts de certaines structures de bois liés à leurs anomalies de croissance. Ces derniers présentent des conséquences sur le classement et la transformation du bois. Ce cours présente le matériau bois et sa structure, la genèse du bois, les anomalies de l'arbre sur pieds et défauts de sa structure, l'analyse macroscopique des bois, l'analyse microscopique des bois, l'identification des essences sous forme de grumes et de débités.

### PRÉ-REQUIS

Aucun.

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Comprendre la genèse du matériau bois, sa formation, ses éléments constitutifs et sa structure.
2. Énumérer les conséquences de cette structure sur l'identification de bois, le classement (grumes et débités) et la transformation des grumes.

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Analyser à l'œil nu et à l'aide d'une loupe la structure d'un tronc d'arbre suivant les différents plans ligneux : coupes transversale, radiale et tangentielle, puis expliquer comment le bois se forme.
2. Identifier visuellement, à l'aide d'une loupe à faible grossissement et d'une clé d'identification macroscopique, les principales essences forestières tropicales sous formes de grumes et débités.
3. Identifier visuellement les anomalies apparaissant sur les différentes espèces sur pied pour le contrôle de l'utilisation.

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Le matériau bois et sa structure

- 1.1. Les domaines de l'anatomie et définitions (l'anatomie générale, l'anatomie systématique, l'anatomie appliquée)
- 1.2. Structure de l'arbre
- 1.3. Formation du bois et de l'écorce
- 1.4. Structure macroscopique du bois en coupes transversale, radiale et tangentielle (anneaux de croissance, orientation des grains, orientation du fil, structure du bois au niveau des nœuds)
- 1.5. Structure microscopique des bois feuillus et des bois résineux
- 1.6. Constituants chimiques du bois feuillus et des bois résineux
- 1.7. Rapport entre l'anatomie du bois et ses propriétés

### Chapitre 2. La genèse du bois

- 2.1. Le développement du cambium vasculaire (Accroissement en longueur et en diamètre, fonctionnement de l'assise génératrice libéro-ligneuse ou cambium, activité cambiale et influence des conditions de production)
- 2.2. Zones caractéristiques du bois et de l'écorce (bois adulte, bois juvénile, écorce, assise génératrice libéro-ligneuse)

### Chapitre 3. Anomalies de l'arbre sur pied et défauts de sa structure

- 3.1. Défauts de croissance du bois : bois de réaction, orientation anormale des fibres (fibre torse, contrefil, fil ondulé), cœur étoilé, roulure
- 3.2. Conséquences des défauts de structure du bois sur la transformation (sciage, séchage, déroulage, tranchage, rabotage) et le classement

### Chapitre 4. Analyse macroscopique des bois

- 4.1. Prélèvement d'un échantillon pour identification macroscopique
- 4.2. Préparation du bois : sous forme de cube orienté
- 4.3. Observation à l'œil nu
- 4.4. Observation à la loupe à main

### Chapitre 5. Analyse microscopique

- 5.1. Les outils pour l'observation microscopique
- 5.2. Préparation microscopique par coupe minces orientées

- 5.3. Préparation microscopiques par dissociation des éléments du bois
- 5.4. Les mesures

## Chapitre 6. Identification des essences sous forme de grumes et de débités

- 6.1. Clef d'identification des grumes et des débités
- 6.2. Identification des bois (grumes et débités) à partir de leurs caractéristiques sur les parcs de stockage et dans les laboratoires
- 6.3. Critères de différenciation entre les essences et techniques pratiques d'identification
- 6.4. Application : Reconnaissance de 25 essences commerciales en grumes et débités

---

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement totalise 90 heures réparties en *deux composantes : théorique et pratique*.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente *le matériau bois* et sa structure, la genèse du bois, les anomalies de l'arbre sur pieds et défauts de sa structure, l'analyse macroscopique des bois, l'analyse microscopique des bois, l'identification des essences sous forme de grumes et de débités.

La composante pratique, très importante, doit s'effectuer au laboratoire et sur le terrain. Elle permettra à l'étudiant d'analyser sur le terrain les anomalies de croissance de l'arbre sur pied, d'identifier les grumes dans un parc, et de reconnaître les bois sous forme de débités à l'état brut et à l'état raboté dans les usines. Au niveau du laboratoire, l'analyse de la structure du bois doit s'effectuer à l'œil nu et à l'échelle microscopique à l'aide d'instruments.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Laboratoire du matériau bois. Le TP1 consistera à **observer et à reconnaître les essences en laboratoire** en utilisant la loupe à main et le microscope; l'étudiant doit dresser un rapport de travaux pratiques.

TP2 : Visite d'un parc à grumes (forêt ou usine). Le TP2 consistera à **observer et à reconnaître à l'œil nu les bois sous forme de grumes dans les parcs** forêt ou les parcs usine. L'étudiant devra déposer un rapport de travaux pratiques

TP3 : Visite d'une usine de transformation des bois débités. Le TP3 consiste à **observer et à reconnaître à l'œil nu les bois sous forme de grumes et de débités**. L'étudiant devra déposer un rapport de travaux pratiques.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Totaux		
20	0	20	Chapitre 1. Le matériau bois et sa structure	Cours théoriques
5	0	5	Chapitre 2. La genèse du bois	Cours théoriques
5	0	5	Chapitre 3. Anomalies de l'arbre sur pied et défauts de sa structure	Cours théoriques
5	10	15	Chapitre 4. Analyse Macroscopique des bois	Cours théoriques et pratique TP1
5	10	15	Chapitre 5. Analyse Microscopique	
10	20	30	Chapitre 6. Identification des essences sous forme de grumes et de débités	Cours théoriques et pratique TP2 et TP3
50	40	90		

### Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (30%)
- Examen final (30%)
- Rapport de laboratoire (20%)
- Rapport de visite terrain (2 x 10% = 20%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Des vêtements appropriés lors des visites en milieu industriel (ex. : bottes, vêtements longs, etc.).*

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- i) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- ii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- iii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- iv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- v) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

Hoadley, R. B. 2000. Understanding Wood. A craftsman's guide to wood technology. The Taunton Press. ISBN 1-56158-358-8. 280 p.

Hoadley, R.B. 1990. Identifying Wood. Accurate results with simple tools. The Taunton Press. ISBN 0-942391-04-7. 224 p.

Panshin, A.J.; de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology - Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company, New York. 722 p.

## ULTRA STRUCTURE DU BOIS

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours a pour but de faire acquérir à l'étudiant un ensemble de connaissances sur l'anatomie cellulaire du xylème des arbres qui lui permettront d'identifier un certain nombre de bois commerciaux de l'Afrique centrale, d'analyser les caractéristiques anatomiques et structurales déterminant la transformation et l'utilisation des bois et d'interpréter la variabilité du bois. On vise également à tracer un lien entre la discipline de l'aménagement forestier et le génie du bois, notamment en mettant en évidence l'impact des pratiques forestières diverses caractéristiques des approvisionnements en bois.

### PRÉ-REQUIS

Aucun.

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Analyser l'impact de la structure et de l'anatomie cellulaire du bois sur les procédés de transformation et sur l'aptitude des bois à des utilisations données.
2. Décrire la variabilité du bois et l'impact des conditions de croissance sur les propriétés ainsi que sur la transformation et l'utilisation du bois.

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Décrire la composition chimique et la structure de la paroi cellulaire.
2. Connaître les principaux éléments de la structure microscopique des bois résineux et feuillus.
3. Pouvoir identifier aux niveaux macroscopique et microscopique un certain nombre de bois commerciaux de l'Afrique Centrale.
4. Connaître l'impact de l'anatomie cellulaire et la structure du bois sur les procédés de transformation et l'utilisation du bois.
5. Décrire la variabilité du bois à l'intérieur d'une espèce et à l'intérieur d'un arbre.
6. Décrire l'impact des conditions de croissance sur les propriétés du bois et sur la transformation et l'utilisation.
7. Comprendre les bases du système forestier québécois et son impact sur la qualité des approvisionnements en bois.

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### **Chapitre 1. Notions générales sur le bois**

- 1.1. Principales caractéristiques
- 1.2. Utilisations

### **Chapitre 2. Description microscopique des bois résineux**

- 2.1. Trachéides longitudinales
- 2.2. Canaux résinifères
- 2.3. Parenchymes
- 2.4. Rayons ligneux
- 2.5. Ponctuations des champs de croisement

### **Chapitre 3. Description microscopique des bois feuillus**

- 3.1. Vaisseaux
- 3.2. Types de perforations
- 3.3. Distribution des vaisseaux
- 3.4. Fibres trachéides
- 3.5. Parenchymes
- 3.6. Rayons ligneux

### **Chapitre 4. La paroi cellulaire: structure et composition chimique**

- 4.1. Lamelle moyenne, paroi primaire et secondaire
- 4.2. Composition chimique
- 4.3. Ponctuations des parois cellulaires

### **Chapitre 5. Variabilité du bois**

- 5.1. Variabilité à l'intérieur d'une tige
- 5.2. Variabilité à l'intérieur d'une espèce

### **Chapitre 6. Qualité du bois et sylviculture**

- 6.1. Notion de qualité du bois
- 6.2. Effet de certains traitements sylvicoles sur la qualité du bois

---

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Afin de permettre à l'étudiant d'atteindre les objectifs du cours, l'étudiant se voit offrir un cheminement à deux voies parallèles. Premièrement deux heures par semaine seront consacrées à des exposés magistraux traitant des connaissances fondamentales à acquérir sur l'anatomie et la structure du bois. Deuxièmement, trois à six autres heures par semaine seront consacrées à l'apprentissage de l'identification macroscopique et microscopique d'un certain nombre de bois



commerciaux de l'Afrique centrale. La technique de préparation des coupes minces au microtome sera également présentée.

## Travaux pratiques

TP1 : Laboratoire du matériau bois. Le TP1 consistera à **observer et à reconnaître macroscopiquement des essences de résineux en laboratoire**; l'étudiant doit dresser un rapport de travaux pratiques.

TP2 : Laboratoire du matériau bois. Le TP2 consistera à **observer et à reconnaître microscopiquement des essences de résineux en laboratoire**; l'étudiant doit dresser un rapport de travaux pratiques.

TP3 : Laboratoire du matériau bois. Le TP3 consistera à **observer et à reconnaître macroscopiquement des essences de feuillus en laboratoire**; l'étudiant doit dresser un rapport de travaux pratiques.

TP4 : Laboratoire du matériau bois. Le TP4 consistera à **observer et à reconnaître microscopiquement des essences de feuillus en laboratoire**; l'étudiant doit dresser un rapport de travaux pratiques.

TP5 : Laboratoire portant sur la **microtomie et la coloration du bois**. Chaque étudiant devra préparer un certain nombre de coupes minces sur un sujet lié à son projet de recherche, en tirer des images numériques, les traiter, y ajouter des commentaires et en mesurer les caractéristiques morphologiques. Un rapport de 10-15 pages est attendu en équipe de deux.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Totaux		
4	0	2	Chapitre 1. Notions générales sur le bois	Cours théoriques, lectures
4	12	8	Chapitre 2. Description microscopique des bois résineux	Cours théoriques, lectures, TP1, TP2
4	12	8	Chapitre 3. Description microscopique des bois feuillus	Cours théoriques, lectures, TP3, TP4
4	10	5	Chapitre 4. La paroi cellulaire: structure et composition chimique	Cours théoriques, lectures, TP5
4	0	2	Chapitre 5. Variabilité du bois	Cours théoriques, lectures
6	0	4	Chapitre 6. Qualité du bois et sylviculture	Cours théoriques, lectures
<b>26</b>	<b>34</b>	<b>60</b>		

## Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

---

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (25%)
- Travaux pratiques (45%) : TP 1-2-3-4 (4X5% = 20%); TP5 (15%)
- Examen théorique final (30%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATERIEL OBLIGATOIRE

Lunettes de sécurité et sarrau de laboratoire, kit de dissection

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- vi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- vii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- viii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- ix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- x) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

### **RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES**

#### **Liste des ouvrages obligatoires**

*À préciser par le professeur*

#### **Liste des ouvrages recommandés**

Hoadley, R. B. 2000. Understanding Wood. A craftsman's guide to wood technology. The Taunton Press. ISBN 1-56158-358-8. 280 p.

Hoadley, R.B. 1990. Identifying Wood. Accurate results with simple tools. The Taunton Press. ISBN 0-942391-04-7. 224 p.

Panshin, A.J.; de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology - Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company, New York. 722 p.

## PHYSIQUE DU BOIS

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>6 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Le bois a toujours été considéré comme les matériaux le plus accessible depuis le début de l'humanité pour plusieurs usages. Cependant depuis les dernières décennies le bois se trouve en concurrence avec plusieurs matériaux tels que : l'acier, l'aluminium, le béton, le verre, les alliages bois-plastiques. Il devient primordial de développer les propriétés de ce matériau à travers la physique afin de conserver la position privilégiée parmi la multitude de produit mis à la disposition des consommateurs.

Ce cours de physique du bois traite des propriétés générales de la matière (masse volumique, porosité, hygroscopicité), des propriétés physico-chimiques, mécanique, thermiques et calorifiques, électriques, acoustiques et optiques. La transformation et l'utilisation rationnelle de la matière ligneuse passe par la connaissance de ces propriétés fondamentales qui sont à la base de la science du bois. Chacune de ces propriétés fera l'objet d'un chapitre détaillé.

### PRÉ-REQUIS

Notions de base en physique générale

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Connaître les propriétés physiques du matériau bois
2. Présenter la complexité du matériau et le comparer à ceux habituellement utilisés en ingénierie

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

*Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :*

1. Définir la variabilité et appliquer les méthodes de mesure des propriétés fondamentales du bois
2. Analyser les propriétés physico-chimiques, mécaniques, thermiques, électriques et acoustiques du bois.

3. Comparer les propriétés du bois à celles des autres matériaux et définir les relations entre les différentes propriétés du bois.
4. Mesurer la perméabilité du bois au gaz et utiliser la loi de Darcy

---

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Notions préliminaires

- 1.1. Généralités sur la matière ligneuse
- 1.2. Morphologie et structure du bois
- 1.3. Anomalies du bois (anomalies de structure, de croissance ou d'origine mécanique)
- 1.4. Altération du bois (coloration du bois, pourriture, chimiques, physiques et physico-chimiques ou durabilité naturelles)
- 1.5. Dessin du bois

### Chapitre 2. Masse volumique et porosité

- 2.1. Définitions : Humidité, masse volumiques, porosité, gonflement-retrait
- 2.2. Relation entre Masse volumique anhydre ( $D_0$ ), Masse volumique basale ( $D_b$ ), Masse volumique humide ( $D_H$ )
- 2.3. Technique de mesure de masse volumique (Méthode directe de mesure de masse et volume, méthode indirecte)
- 2.4. Résultats des mesures de masse volumique
- 2.5. Variations et paramètres de masse volumique

### Chapitre 3. Humidité et comportement hygroscopique

- 3.1. Teneur en humidité et état anhydre
- 3.2. Technique de mesure de la teneur en humidité (Méthode par dessiccation, par distillation, chimique, par ondes et radiations, méthodes indirectes de mesures)
- 3.3. Résultats de mesure d'humidité (Humidité des bois verts, des bois morts sur pieds, humidité des bois abattus et façonnés)
- 3.4. Hygroscopicité et sorption d'humidité (Equilibre hygroscopique, résultats de mesure de sorption, principaux paramètres de sorption, saturation des membranes, équation d'équilibre, vitesse de sorption)
- 3.5. Gonflement-retrait (notion de base, résultats de mesures, relation de volume et masse)

### Chapitre 4. Propriétés physico-chimiques

- 4.1. Masse volumique de la matière ligneuse

- 4.2. Mouvement des fluides dans le bois (perméabilité du bois en conditions saturées en gaz ou en liquide, conductivité hydrique du bois en conditions non saturées)

### **Chapitre 5. Propriétés mécanique du bois**

- 5.1. Résistance mécanique du bois
- 5.2. Facteurs affectants la résistance mécanique du bois

### **Chapitre 6. Propriétés thermique du bois**

- 6.1. Dilatation thermique
- 6.2. Chaleur spécifique ou massique
- 6.3. Conduction de la chaleur (conductibilité thermique, diffusivité thermique, calcul de déperditions de chaleur par des parois : résistance thermique)
- 6.4. Comportement du bois au feu (pouvoir calorifique, autres propriétés thermiques du bois)

### **Chapitre 7. Propriétés électriques du bois**

- 7.1. Conductivité électrique
- 7.2. Propriétés diélectriques (constante, facteur de puissance et facteur de perte, utilisation des propriétés diélectriques du bois, effets piézo-électrique)

### **Chapitre 8. Propriétés acoustique du bois**

- 8.1. Généralités
- 8.2. Transmission dans le bois (vitesse de transmission, impédance acoustique et amortissement du son)
- 8.3. Utilisation du bois dans l'isolation phonique des bâtiments (intensité sonore, perte de transmission du son à travers un mur : isolation phonique; absorption du son)
- 8.4. Utilisation des ultrasons pour l'appréciation de la qualité du bois

---

## **APPROCHE PÉDAGOGIQUE**

L'enseignement totalise 90 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique (terrain et laboratoire).

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les notions préliminaires de la physique du bois, la masse volumique et la porosité du bois, l'humidité et comportement hygroscopique, les propriétés physico-chimiques, mécaniques du bois, thermiques, électriques et acoustiques du bois.

La composante pratique doit s'effectuer au laboratoire de physique du bois.

## Laboratoires et Travaux pratiques

Il est prévu 04 laboratoires et 03 Travaux pratiques. Un rapport d'équipe (2-3 étudiants par équipe) est déposé au terme de chaque TP (10-12 pages).

### Laboratoires

Laboratoire 1 sur la masse volumique et la porosité du bois

Laboratoire 2 sur les propriétés physicochimiques du bois

Laboratoire 3 sur les propriétés thermiques du bois

Laboratoire 4 sur les propriétés acoustiques du bois

### Travaux pratiques

TP1 – Humidité et comportement hygroscopique du bois

TP2 – Les propriétés mécaniques du bois

TP3 – Les propriétés électriques du bois.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
5	0	5	Chapitre 1. Notions préliminaires	Cours théoriques
10	0	10	Chapitre 2. Masse volumique et porosité	Cours théoriques Laboratoire 1
10	5	15	Chapitre 3. Humidité et comportement hygroscopique	Cours théoriques, TP1
10	5	15	Chapitre 4. Propriétés physico-chimiques	Cours théoriques Laboratoire 2
10	5	15	Chapitre 5. Propriétés mécanique du bois	Cours théoriques, TP2
5	5	10	Chapitre 6. Propriétés thermique du bois	Cours théoriques Laboratoire 3
5	5	10	Chapitre 7. Propriétés électriques du bois	Cours théoriques, TP3
5	5	10	Chapitre 8. Propriétés acoustique du bois	Cours théoriques Laboratoire 4
60	30	90		

---

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (25%)
- Examen final (30%)
- Rapports de TP et de laboratoire (3 x 15% = 45%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Équipements de sécurité pour le laboratoire (lunettes, etc.).*

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xiii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xiv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes



---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

Anonyme 1999. Wood handbook: Wood as an engineering material. For. Prod. Lab., U.S. Dept. Agric. Madison, Wisconsin.

Bucur, V. 2006. Acoustics of wood. Springer, Berlin.

Deschênes, H. 1986. Utilisation et transformation des bois. Modulo, Mont Royal, Québec.

Desch, H.E. et J.M. Dinwoodie. 1996. Timber. Structure, properties, conversion and use. 7th edition. Food Products Press, New York, NY.

Guitard, D. 1987. Mécanique du matériau bois et composites. Cepadues-editions, Toulouse.

Jodin, P. 1994. Le bois matériau d'ingénierie. Association pour la recherche sur le bois en Lorraine, Nancy, France.

Josse, R. 1972. Notions d'acoustique à l'usage des architectes, ingénieurs et urbanistes. Éditions Eyrolles, Paris.

Kellogg, R. M. 1981 Physical properties of wood dans F. F. Wangaard (éd.) Wood: its structure and properties. Vol. 1: 187-223.

Kollmann, F. et W. A. Côté Jr. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Volume I: Solid wood. Springer Verlag, New York.

Lin, R. T. 1965. A study on the electrical conduction in wood. For. Prod. J. 15: 506-514.

Lin, R. T. 1967. Review of the electrical properties of wood and cellulose. For. Prod. J. 17(7): 54-61.

Mullins, E.J. et T.S. McKnight, 1981. Les bois du Canada: leurs propriétés et leurs usages. Éditions du Pelican, Québec.

Panshin, A.J. et C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology, 4ème édition. McGraw-Hill, New York.

Sallenave, P. 1955. Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux de l'Union française. Centre technique forestier tropical, Nogent sur Marne.

Skaar, C. 1988. Wood-water relations. Springer-Verlag, New-York, NY

Siau, J.F. 1995. Wood: Influence of moisture on physical properties. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.

Tsoumis, G. 1991. Science and technology of Wood. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York.

Villard, L. 1962. Traité pratique de l'acoustique appliquée à la construction des bâtiments. Éditions Paul Feissly, Lausanne, Suisse.

Wangaard, F. F. 1981. Wood: Its structure and properties. Clark C. Heritage Memorial Workshop on Wood. University Park, Pa.

## PHYSIQUE DU BOIS AVANCE

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours de physique du bois avancé vise à approfondir les notions vues dans le cours « Physique du bois I ». Il traite notamment des relations bois-eau-atmosphère (avec une emphase sur les relations thermodynamiques comme l'enthalpie, l'énergie libre et les méthodes de mesure de ces paramètres), des théories de la sorption d'humidité dans le bois, du mouvement de masse et de chaleur dans le bois au cours du séchage, de la détermination des propriétés physico-chimiques du bois par imagerie et spectroscopie et de l'application d'outils d'ingénierie à la simulation de problèmes d'échange.

### PRÉ-REQUIS

Physique du bois I

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Étude approfondie des relations bois-eau-atmosphère
2. Évaluation non destructive des propriétés physico-chimiques du bois

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Comprendre la complexité des relations bois-eau-atmosphère
2. Analyser l'impact des relations bois-eau-atmosphère sur les traitements du bois comme le séchage et son comportement en service
3. Évaluer de façon non destructive les propriétés physico-chimiques du bois.
4. Mesurer la perméabilité du bois au gaz en lien avec son aptitude à l'imprégnation
5. Utiliser le logiciel Matlab pour la simulation de phénomènes d'échange

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Les relations bois-eau-atmosphère

- 1.1. Les relations thermodynamiques (ex. 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> lois; enthalpie)
- 1.2. L'énergie libre
- 1.3. Les méthodes de mesure de l'enthalpie et de l'énergie libre de l'eau dans le bois

### Chapitre 2. Relations bois-eau-atmosphère

- 2.1. Concept de l'humidité relative de l'air et sa mesure
- 2.2. Concept de la pression capillaire de l'eau dans le bois
- 2.3. Concept du potentiel hydrique de l'eau du bois (énergie libre) et critère de déplacement spontané
- 2.4. Mesures des courbes de sorption en dessous et au-dessus du point de saturation des fibres

### Chapitre 3. Théories de la sorption de l'humidité dans le bois

- 3.1. Rappel des différents modèles classiques de sorption
- 3.2. Introduction à la géométrie des fractales et application aux modèles de sorption

### Chapitre 4. Mouvement de masse et de chaleur dans le bois

- 4.1. Mouvement des fluides dans le bois en conditions saturées (loi de Darcy, perméabilité du bois aux liquides et aux gaz; résistance du bois à l'imprégnation de produits de préservation)
- 4.2. Mouvement de l'humidité et de la chaleur dans le bois en conditions non saturées appliquées au séchage du bois (revue des différents modèles macroscopiques à force motrice unique (potentiel hydrique, teneur en humidité) et à forces motrices multiples (pression capillaire, pression de vapeur partielle, potentiel chimique)

### Chapitre 5. Détermination des propriétés physico-chimiques du bois par imagerie et spectroscopie

- 5.1. Infrarouge-proche (IR)
- 5.2. Imagerie de fluorescence
- 5.3. Imagerie Raman
- 5.4. Imagerie à force atomique
- 5.5. Imagerie de résonance magnétique nucléaire
- 5.6. Imagerie à rayons-X

## Chapitre 6. Application du logiciel Matlab à la simulation de phénomènes d'échange

- 6.1. Initiation à Matlab
- 6.2. Exemples de simulation de phénomènes d'échange de masse et de chaleur

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement totalise 60 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique (terrain et laboratoire).

La composante théorique sous forme d'exposé magistral et la composante pratique, importante, doit s'effectuer au laboratoire de physique du bois.

### Laboratoires et Travaux pratiques

Il est prévu 03 laboratoires et 02 Travaux pratiques. Un rapport d'équipe (2-3 étudiants par équipe) est déposé au terme de chaque TP (10-12 pages).

#### Laboratoires

Laboratoire 1 sur les relations bois-eau-atmosphère

Laboratoire 2 sur le mouvement de masse et de chaleur dans le bois au cours du séchage

Laboratoire 3 sur l'application de Matlab à la simulation de phénomènes d'échange

#### Travaux pratiques

TP1 – Mouvement de masse et de chaleur dans le bois au cours du séchage

TP2 – Application d'outils d'ingénierie à la simulation de phénomènes d'échange

### CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
6	8	14	Chapitre 1. Les relations bois-eau-atmosphère	Cours théoriques, lectures, laboratoire 1
4	0	4	Chapitre 2. Relations bois-eau-atmosphère	Cours théoriques, lectures
4	0	4	Chapitre 3. Théories de la sorption d'humidité dans le bois	Cours théoriques, lectures
8	8	16	Chapitre 4. Mouvement de masse et de chaleur dans le bois	Cours théoriques, lectures, laboratoire 2, TP1
8	0	8	Chapitre 5. Détermination des propriétés physico-chimiques	Cours théoriques, lectures

			du bois par imagerie et spectroscopie	
<b>6</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	Chapitre 6. Application de Matlab à la simulation de phénomènes d'échange	Cours théoriques, lectures, laboratoire 3, TP2
<b>36</b>	<b>24</b>	<b>60</b>		

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (20%)
- Examen final (30%)
- Travaux pratiques (2 x 25% = 50%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Équipements de sécurité pour le laboratoire (lunettes, etc.).*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xx) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

- Anonyme 1999. Wood handbook: Wood as an engineering material. For. Prod. Lab., U.S. Dept. Agric. Madison, Wisconsin
- Babbit, J. D. 1950. On the differential equations of diffusion. Can. J. Res. A. 28 : 449-474.
- Benrabah Z. 2002. Modélisation tridimensionnelle par éléments finis des phénomènes hygro-thermiques dans les milieux poreux : Application au séchage du bois et à la dessiccation du béton. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada. pp. 5-63.
- Bergman, T.L. et F.P. Incropera. 2011. Fundamentals of heat and mass transfer. Hoboken, NJ : John Wiley.
- Bodig, J. et B.A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, NY
- Bowyer, J.L., R. Shmulsky et J.G. Haygreen. 2003. Forest products and wood science: an introduction. 4ème Edition. Iowa State Press, Ames, Iowa.
- Bucur, V. 2006. Acoustics of wood. Springer, Berlin.
- Choong, E.T. 1965. Diffusion coefficients of softwoods by steady-state and theoretical methods. Forest Prod. J. 15(1): 21-27.
- Cloutier, A. 1991. Modélisation du séchage du bois basée sur le concept de potentiel hydrique. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada. 275 p.
- Comstock, G. et W. Côté 1968. Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood. Wood Sci. Technol. 2: 279-291.
- Comstock, G. L. 1963. Moisture diffusion coefficients in wood as calculated from adsorption, desorption and steady state data. Forest Prod. J. 13 (3), 97–103.
- Defo, M., A. Cloutier et Y. Fortin 2000. Modelling vacuum-contact drying of wood : the water potential approach. Drying Technol. 18(8): 1737-1778.
- Desch, H.E. et J.M. Dinwoodie. 1996. Timber. Structure, properties, conversion and use. 7th edition. Food Products Press, New York, NY
- Dietz, A.G.H., E.L. Schaffer et D.S. Gromala. 1982. Wood as a structural material. Clark C. Heritage Memorial Series on Wood, Pennsylvania University, University Park, Pa.

- Edlefsen, N. E. et A. B. C. Anderson. 1943. Thermodynamics of soil moisture. *Hilgardia* 15(2): 31-298.
- Fortin, Y. 1979. Moisture content – matric potential relationship and water flow properties of wood at high moisture contents. Ph.D. dissertation, The University of British Columbia, Vancouver. 187 p.
- Goring, D.A.I. 1963. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, décembre 1963: T-517-T527
- Goulet, M. et Y. Fortin. 1975. Mesures du gonflement de l'érable à sucre au cours d'un cycle de sorption d'humidité à 21°C. Note de recherches no 12, Département d'exploitation et utilisation des bois, Université Laval, Ste-Foy.
- Guitard, D. 1987. Mécanique du matériau bois et composites. Cepadues-éditions, Toulouse.
- Kauman, W. G. 1956. Equilibrium moisture content relations and drying control in superheated steam drying. *Forest Prod. J.* 25(6): 328-332.
- Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. USDA Forest Service, Agriculture Handbook No 605, Vol. I. The raw material, Washington, DC.
- Kollmann, F. et W. A. Côté Jr. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Volume I: Solid wood. Springer Verlag, New York.
- Luikov, A. V. 1966. Heat and mass transfer in capillary-porous bodies. Pergamon Press, New York. 523 p.
- Perré, P. et I. Turner 1999. A 3D version of TransPore: A comprehensive heat and mass transfer computational model for simulating the drying of porous media. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 42(24): 4501–4521.
- Schniewind, A. 1989. Concise encyclopedia of wood and wood-based material. MIT Press. Cambridge.
- Siau, J.F. 1984. Transport processes in wood. Springer-Verlag, New-York. 245 p.
- Siau, J.F. 1995. Wood: Influence of moisture on physical properties. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Simpson, W. T. 1973. Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. *Wood fiber.* 5(1) : 41-49.
- Skaar, C. 1988. Wood-water relations. Springer-Verlag, New-York, NYStamm, A.J. 1964. Wood and cellulose science. Ronald Press Company, New York, NY.
- Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood. Structure, properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Wangaard, F.F. 1981. Wood: its structure and properties. Volume 1, Clark C. Heritage Memorial Series on Wood. The Pennsylvania University, University Park, Pa.
- Weatherwax, R.C. et A. J. Stamm. 1946. The coefficients of thermal expansion of wood and wood products. U.S. For. Prod. Lab. Rep. No 1484, Madison, Wisc.

## PHYSIQUE DU BOIS AVANCE

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours de physique du bois avancé vise à approfondir les notions vues dans le cours « Physique du bois I ». Il traite notamment des relations bois-eau-atmosphère (avec une emphase sur les relations thermodynamiques comme l'enthalpie, l'énergie libre et les méthodes de mesure de ces paramètres), des théories de la sorption d'humidité dans le bois, du mouvement de masse et de chaleur dans le bois au cours du séchage, de la détermination des propriétés physico-chimiques du bois par imagerie et spectroscopie et de l'application d'outils d'ingénierie à la simulation de problèmes d'échange.

### PRÉ-REQUIS

Physique du bois I

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Étude approfondie des relations bois-eau-atmosphère
2. Évaluation non destructive des propriétés physico-chimiques du bois

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Comprendre la complexité des relations bois-eau-atmosphère
2. Analyser l'impact des relations bois-eau-atmosphère sur les traitements du bois comme le séchage et son comportement en service
3. Évaluer de façon non destructive les propriétés physico-chimiques du bois.
4. Mesurer la perméabilité du bois au gaz en lien avec son aptitude à l'imprégnation
5. Utiliser le logiciel Matlab pour la simulation de phénomènes d'échange



## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Les relations bois-eau-atmosphère

- 1.1. Les relations thermodynamiques (ex. 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> lois; enthalpie)
- 1.2. L'énergie libre
- 1.3. Les méthodes de mesure de l'enthalpie et de l'énergie libre de l'eau dans le bois

### Chapitre 2. Relations bois-eau-atmosphère

- 2.1. Concept de l'humidité relative de l'air et sa mesure
- 2.2. Concept de la pression capillaire de l'eau dans le bois
- 2.3. Concept du potentiel hydrique de l'eau du bois (énergie libre) et critère de déplacement spontané
- 2.4. Mesures des courbes de sorption en dessous et au-dessus du point de saturation des fibres

### Chapitre 3. Théories de la sorption de l'humidité dans le bois

- 3.1. Rappel des différents modèles classiques de sorption
- 3.2. Introduction à la géométrie des fractales et application aux modèles de sorption

### Chapitre 4. Mouvement de masse et de chaleur dans le bois

- 4.1. Mouvement des fluides dans le bois en conditions saturées (loi de Darcy, perméabilité du bois aux liquides et aux gaz; résistance du bois à l'imprégnation de produits de préservation)
- 4.2. Mouvement de l'humidité et de la chaleur dans le bois en conditions non saturées appliquées au séchage du bois (revue des différents modèles macroscopiques à force motrice unique (potentiel hydrique, teneur en humidité) et à forces motrices multiples (pression capillaire, pression de vapeur partielle, potentiel chimique)

### Chapitre 5. Détermination des propriétés physico-chimiques du bois par imagerie et spectroscopie

- 5.1. Infrarouge-proche (IR)
- 5.2. Imagerie de fluorescence
- 5.3. Imagerie Raman
- 5.4. Imagerie à force atomique
- 5.5. Imagerie de résonance magnétique nucléaire
- 5.6. Imagerie à rayons-X

## Chapitre 6. Application du logiciel Matlab à la simulation de phénomènes d'échange

- 6.1. Initiation à Matlab
- 6.2. Exemples de simulation de phénomènes d'échange de masse et de chaleur

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement totalise 60 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique (terrain et laboratoire).

La composante théorique sous forme d'exposé magistral et la composante pratique, importante, doit s'effectuer au laboratoire de physique du bois.

### Laboratoires et Travaux pratiques

Il est prévu 03 laboratoires et 02 Travaux pratiques. Un rapport d'équipe (2-3 étudiants par équipe) est déposé au terme de chaque TP (10-12 pages).

#### **Laboratoires :**

Laboratoire 1 sur les relations bois-eau-atmosphère

Laboratoire 2 sur le mouvement de masse et de chaleur dans le bois au cours du séchage

Laboratoire 3 sur l'application de Matlab à la simulation de phénomènes d'échange

#### **Travaux pratiques :**

TP1 – Mouvement de masse et de chaleur dans le bois au cours du séchage

TP2 – Application d'outils d'ingénierie à la simulation de phénomènes d'échange

### CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
6	8	14	Chapitre 1. Les relations bois-eau-atmosphère	Cours théoriques, lectures, laboratoire 1
4	0	4	Chapitre 2. Relations bois-eau-atmosphère	Cours théoriques, lectures
4	0	4	Chapitre 3. Théories de la sorption d'humidité dans le bois	Cours théoriques, lectures
8	8	16	Chapitre 4. Mouvement de masse et de chaleur dans le bois	Cours théoriques, lectures, laboratoire 2, TP1
8	0	8	Chapitre 5. Détermination des propriétés physico-chimiques du bois par imagerie et spectroscopie	Cours théoriques, lectures

---

<b>6</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	Chapitre 6. Application de Matlab à la simulation de phénomènes d'échange	Cours théoriques, lectures, laboratoire 3, TP2
<b>36</b>	<b>24</b>	<b>60</b>		

---

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (20%)
- Examen final (30%)
- Travaux pratiques (2 x 25% = 50%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Équipements de sécurité pour le laboratoire (lunettes, etc.).*

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xxi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xxii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xxiii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xxiv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xxv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

- Anonyme 1999. Wood handbook: Wood as an engineering material. For. Prod. Lab., U.S. Dept. Agric. Madison, Wisconsin
- Babbit, J. D. 1950. On the differential equations of diffusion. Can. J. Res. A. 28 : 449-474.
- Benrabah Z. 2002. Modélisation tridimensionnelle par éléments finis des phénomènes hygro-thermiques dans les milieux poreux : Application au séchage du bois et à la dessiccation du béton. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada. pp. 5-63.
- Bergman, T.L. et F.P. Incropera. 2011. Fundamentals of heat and mass transfer. Hoboken, NJ : John Wiley.
- Bodig, J. et B.A. Jayne. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, NY
- Bowyer, J.L., R. Shmulsky et J.G. Haygreen. 2003. Forest products and wood science: an introduction. 4ème Edition. Iowa State Press, Ames, Iowa.
- Bucur, V. 2006. Acoustics of wood. Springer, Berlin.
- Choong, E.T. 1965. Diffusion coefficients of softwoods by steady-state and theoretical methods. Forest Prod. J. 15(1): 21-27.
- Cloutier, A. 1991. Modélisation du séchage du bois basée sur le concept de potentiel hydrique. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada. 275 p.
- Comstock, G. et W. Côté 1968. Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood. Wood Sci. Technol. 2: 279-291.
- Comstock, G. L. 1963. Moisture diffusion coefficients in wood as calculated from adsorption, desorption and steady state data. Forest Prod. J. 13 (3), 97–103.
- Defo, M., A. Cloutier et Y. Fortin 2000. Modelling vacuum-contact drying of wood : the water potential approach. Drying Technol. 18(8): 1737-1778.
- Desch, H.E. et J.M. Dinwoodie. 1996. Timber. Structure, properties, conversion and use. 7th edition. Food Products Press, New York, NY
- Dietz, A.G.H., E.L. Schaffer et D.S. Gromala. 1982. Wood as a structural material. Clark C. Heritage Memorial Series on Wood, Pennsylvania University, University Park, Pa.

- Edlefsen, N. E. et A. B. C. Anderson. 1943. Thermodynamics of soil moisture. *Hilgardia* 15(2): 31-298.
- Fortin, Y. 1979. Moisture content – matric potential relationship and water flow properties of wood at high moisture contents. Ph.D. dissertation, The University of British Columbia, Vancouver. 187 p.
- Goring, D.A.I. 1963. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, décembre 1963: T-517-T527
- Goulet, M. et Y. Fortin. 1975. Mesures du gonflement de l'érable à sucre au cours d'un cycle de sorption d'humidité à 21°C. Note de recherches no 12, Département d'exploitation et utilisation des bois, Université Laval, Ste-Foy.
- Guitard, D. 1987. Mécanique du matériau bois et composites. Cepadues-éditions, Toulouse.
- Kauman, W. G. 1956. Equilibrium moisture content relations and drying control in superheated steam drying. *Forest Prod. J.* 25(6): 328-332.
- Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. USDA Forest Service, Agriculture Handbook No 605, Vol. I. The raw material, Washington, DC.
- Kollmann, F. et W. A. Côté Jr. 1968. Principles of Wood Science and Technology. Volume I: Solid wood. Springer Verlag, New York.
- Luikov, A. V. 1966. Heat and mass transfer in capillary-porous bodies. Pergamon Press, New York. 523 p.
- Perré, P. et I. Turner 1999. A 3D version of TransPore: A comprehensive heat and mass transfer computational model for simulating the drying of porous media. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 42(24): 4501–4521.
- Schniewind, A. 1989. Concise encyclopedia of wood and wood-based material. MIT Press. Cambridge.
- Siau, J.F. 1984. Transport processes in wood. Springer-Verlag, New-York. 245 p.
- Siau, J.F. 1995. Wood: Influence of moisture on physical properties. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Simpson, W. T. 1973. Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. *Wood fiber*. 5(1) : 41-49.
- Skaar, C. 1988. Wood-water relations. Springer-Verlag, New-York, NYStamm, A.J. 1964. Wood and cellulose science. Ronald Press Company, New York, NY.
- Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood. Structure, properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, New York, NY.
- Wangaard, F.F. 1981. Wood: its structure and properties. Volume 1, Clark C. Heritage Memorial Series on Wood. The Pennsylvania University, University Park, Pa.
- Weatherwax, R.C. et A. J. Stamm. 1946. The coefficients of thermal expansion of wood and wood products. U.S. For. Prod. Lab. Rep. No 1484, Madison, Wisc.

## CHIMIE DU BOIS II

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Le cours aborde la problématique de la matière végétale en visant à doter le futur chercheur de compétences conceptuelles générales qui lui de mettre en relation les structures-activités des molécules naturelles et l'usage traditionnelle du matériel végétal. Il développe des bases de phytochimie, appuyées par l'étude des biogénèses de constituants actifs. Après un bref rappel des propriétés fondamentales de la cellulose, des hémicelluloses et de la lignine, ce cours traite de la réactivité chimique des principaux constituants d'origine végétale en vue de leur meilleure valorisation. La détermination des structures des substrats végétaux ainsi que leurs propriétés physico-chimiques permettent une bonne appréhension des domaines d'applications.

### PRÉ-REQUIS

Chimie du bois I

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Acquérir des bases technologiques et pharmacologiques nécessaires à l'évaluation et la qualité des différentes molécules de la matière végétale
2. Avoir des compétences dans l'analyse et la séparation de produits d'origine végétale.

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Décrire les dérivés du métabolisme des lipides
2. Décrire les dérivés du métabolisme des glucides (amidon, éthanol)
3. Décrire les dérivés pariétaux (fibres, cellulose, lignine)
4. Décrire les différents types d'extractibles du matériau bois

---

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Mono et Oligosaccharides

- 1.1. Origine et structure : Asymétrie, liaison hydrogène - Effet anomérique - Analyse structurale
- 1.2. Réactivité des monosaccharides : Extension de chaîne - Synthèses asymétriques - Réactivité en milieu  $H^+$  et  $OH^-$  - Oxydation et réduction - Glycosidation et fonctionnalisation
- 1.3. Réactivité des oligosaccharides : Stabilité  $H^+$  et  $OH^-$  - Synthèse par glycosylation
- 1.4. Synthèses totales à partir de monosaccharides

### Chapitre 2. Polysaccharides

- 2.1. Origine et structure : Propriétés physicochimiques - Analyse structurale
- 2.2. Etat solide et solution : Assemblages supramoléculaires - Structures cristallines - Epaissement et gélification
- 2.3. Réactivité et modification des groupes fonctionnels : Ethérisation - Estérification - Ethoxylation - Xanthanisation - Phosphorylation - sulfonation etc...
- 2.4. Polysaccharides industriels : Inuline - Agar-Agar - Carraghénanes - Pectines - Dextranes - Amidon - Amidonneries - Distilleries - Bioproduits - Cellulose et pâtes à papier mécanique - Thermomécanique chimique et organosolve

### Chapitre 3. Les lipides

- 3.1. Les principaux constituants chimiques : les acides gras et les glycérides
- 3.2. Propriétés physico-chimiques des corps gras : structure, état solide, état liquide
- 3.3. La réactivité en lipochimie : le groupe carboxyle et la chaîne hydrocarbonée
- 3.4. Les applications industrielles

### Chapitre 4. Lignines

- 4.1. Influence de la structure des différentes lignines en fonction de la nature du végétal.
- 4.2. Présentation des principaux procédés d'isolement de la lignine.
- 4.3. Etude des processus réactionnels mis en jeu lors de la solvolysse acide et basique des lignines.
- 4.4. Etude de la réactivité des lignines et du bois, nouvelles perspectives.

---

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Le cours se déroule sur 60 heures présentiels et comprend des cours magistraux (CM), des travaux dirigés (TD) et des travaux pratiques (TP) effectués en laboratoires. Les séances en laboratoire doivent permettre à l'étudiant d'analyser et de se familiariser aux méthodes d'extraction et de caractérisation du matériel végétal. Des exercices soumis et dirigés (TD) par le professeur permettront à l'étudiant de parfaire ses connaissances avant la réalisation des travaux pratiques (TP). Des lectures seront proposées à l'étudiant pour lui permettre d'approfondir la matière vue en cours.

## Travaux pratiques et travaux dirigés

TD1-TP1 : Travaux dirigés en laboratoire et travail pratique en lien avec les mono et Oligosaccharides

TD2-TP2 : Travaux dirigés en laboratoire et travail pratique en lien avec les polysaccharides

TD3-TP3 : Travaux dirigés en laboratoire et travail pratique en lien avec les lipides

TD4-TP4 : Travaux dirigés en laboratoire et travail pratique en lien avec les lignines

\* Les TP sont réalisés en équipe de deux, et un rapport de 10-15 pages est attendu au terme de chaque TP.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux Dirigés	Total		
8	7	15	Chapitre 1. Mono et Oligosaccharides	Cours théoriques, lectures, TD1-TP1
8	7	15	Chapitre 2. Polysaccharides	Cours théoriques, lectures, TD2-TP2
8	7	15	Chapitre 3. Les lipides	Cours théoriques, lectures, TD3-TP3
8	7	15	Chapitre 4. Lignines	Cours théoriques, lectures, TD4-TP4
<b>36</b>	<b>24</b>	<b>60</b>		

## Remarques

Participation aux exercices laboratoires est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (30%)
- Examen final (30%)
- Travaux pratiques : (4 x 10 = 40%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.



---

### **MATÉRIEL OBLIGATOIRE**

*Équipements usuels de sécurité en laboratoire (sarraus et lunettes de sécurité en laboratoire, etc.)*

---

### **RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT**

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xxvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xxvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xxviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xxix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xxx) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

### **RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES**

#### **Liste des ouvrages obligatoires**

*À préciser par le professeur*

#### **Liste des ouvrages recommandés**

Stevanovic, T et D. Perrin. 2010. La chimie du bois, Les presses polytechniques et Universités romandes.

## MECANIQUE DU BOIS I

**PROFESSEUR :** (NOM ET TITRE DE FONCTION)  
**CONTACT :** (EMAIL DU PROFESSEUR)  
**CRÉDITS:** 6 CRÉDITS  
**HORAIRE :** (À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Le cours vise à familiariser les étudiant(e)s aux techniques de calcul tensoriel et son utilisation dans l'élaboration des lois et des modèles de comportement mécanique des essences de bois.

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

Reconnaitre l'importance des essais mécaniques dans l'élaboration des modèles rhéologiques

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS

1. Savoir exprimer un vecteur dans un espace vectoriel en utilisant la notation indicielle et calculer le produit scalaire de deux vecteurs quel que soit la base
2. Maîtriser le calcul du repère dual et savoir exprimer les composantes contravariantes et covariantes d'un vecteur ainsi que le passage de l'une à l'autre, en vue d'écrire les opérateurs tensoriels
3. Comprendre la notion de tenseur et définir le tenseur du second ordre qui conduit au tenseur des contraintes et de déformations
4. savoir calculer les opérateurs tensorielles (gradients, divergence, rotationnel et Laplacien)
5. Connaître les lois de comportement des milieux continus (description Lagrangienne et Eulérienne, thermodynamique des milieux continus, principe de causalité, principe de l'indifférence matérielle ou objectivité)
6. Connaître les espaces de représentation des modèles
7. Connaître les propriétés et le comportement mécanique et élastique (anisotropie) du bois
8. Connaître le comportement différé du bois et les effets mécanosortifs (fluage, relaxation, modèles rhéologiques : saint-Venant, Kelvin, Maxwell)

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Les tenseurs

- 1.1 Notions de base (espace vectoriel, repère dual, composantes contravariantes, composantes covariantes)
- 1.2 Les tenseurs euclidiens du second ordre
  - 1.2.1 Contraction d'un tenseur du second ordre
  - 1.2.2 Invariants tensoriels du second ordre
  - 1.2.3 Les opérateurs différentiels du second ordre : gradient, divergence, rotationnel et Laplacien

### Chapitre 2. Les lois de comportement des milieux continus

- 2.1. Description lagrangienne et eulérienne
- 2.2. Thermodynamique des milieux continus
- 2.3. Principe de causalité et principe d'indifférence matérielle
- 2.4. Notion de contrainte et de déformations

### Chapitre 3. Les essais mécaniques et les espaces de représentations

### Chapitre 4. Propriétés mécaniques du matériau bois

### Chapitre 5. Comportement élastique du matériau bois

### Chapitre 6. Etudes expérimentales du matériau bois

### Chapitre 7. Comportement différé du matériau bois

---

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Ce cours se divise en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposés magistraux hebdomadaires. Des exemples solutionnés sont distribués aux étudiants à chaque chapitre. Les travaux dirigés sont réalisés individuellement ou en équipe en laboratoire.

## Travaux pratiques et travaux dirigés

### Travaux dirigés

TD1 : Les tenseurs

### Travaux pratiques

TP1 : Essais de traction/compression, essais de flexions, essais de torsion

TP2 : Essais de fluage et de relaxation

### CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux dirigés/pratiques	Total		
15	9	24	Chapitre 1. Les tenseurs	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés, TD1
15	0	15	Chapitre 2. Lois de comportement des milieux continus	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés
5	0	5	Chapitre 3. Les essais mécaniques et les espaces de représentations	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés
10	0	10	Chapitre 4. Propriétés mécaniques du matériau bois	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés
6	0	6	Chapitre 5. Comportement élastique du matériau bois	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés
5	10	15	Chapitre 6. Etudes expérimentales du matériau bois	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés, TP1
10	5	15	Chapitre 7. Comportement différé du matériau bois	Cours magistral, lectures et exercices solutionnés, TP2
<b>35</b>	<b>25</b>	<b>90</b>		

### Remarques

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

### MODALITÉS D'ÉVALUATION

#### Répartition des notes

- Examen partiel (35%)
- Examen final (35%)
- Travaux pratiques : 2 x 15% = 30 %

### **Autres précisions**

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

### **MATÉRIEL OBLIGATOIRE**

*Équipements de protection individuels lors des essais en laboratoire (lunettes de protection, gants, etc.).*

---

### **RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT**

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xxxi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xxxii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xxxiii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xxxiv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xxxv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

American Society for Testing and Materials (ASTM) 2008. Annual book of ASTM Standards. Section 4 Construction. Volume 04.10 Wood. West Conshohocken, PA, USA : D143-94 (2000e) Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber D198-05a Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes

Bodig, J. and B.A. Jayne. 1982. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company Inc.

Bowyer, J., R. Shmulsky et J. Haygreen. 2005. Le bois et ses usages. CCDMD. Montréal, Québec.

Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook - Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/fplgtr113.htm>

Gordon, J.E. 1988. The New Science of Strong Materials or why you don't fall through the floor. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA

Hoadley, R.B. 1992. Understanding Wood. A craftsman's guide to wood technology. The Taunton Press. Newtown, Connecticut

Jessome, A.P. 1977. Résistance et propriétés connexes des bois indigènes au Canada. Rapport Technique de Foresterie 21, Laboratoire des Produits Forestiers de l'Est, Ottawa, ON

Madsen, B. 1992. Structural Behavior of Wood. Timber Engineering Ltd. 575 Alpine Court, North Vancouver, British Columbia, Canada

## MECANIQUE DU BOIS II

<b>PROFESSEUR :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS:</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours est destiné à des étudiants qui voudraient soutenir des thèses sur le comportement mécanique du matériau bois. Il vise à familiariser les étudiant(e)s aux différentes étapes qui conduisent à l'élaboration des modèles rhéologiques du matériau bois.

#### PRÉ-REQUIS

Mécanique du bois I

#### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Connaître les différentes étapes qui conduisent à l'élaboration d'un modèle rhéologique
2. Connaître les modèles rhéologiques utilisés pour étudier le comportement mécanique du matériau bois
3. Connaître les mécanismes qui conduisent à la fissuration du matériau bois et les modèles rhéologiques utilisés pour décrire la fissuration du bois
4. Savoir établir les hypothèses

#### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Expliquer les étapes de l'élaboration d'un modèle rhéologique
2. Analyser les mécanismes qui conduisent à la fissuration du matériau bois
3. Analyser et expliquer les modèles rhéologiques utilisés pour décrire la fissuration du bois

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Modélisation du bois

- 1.3 Couplage mécanosorption/élasticité
- 1.4 Couplage mécanosorption /viscoélasticité

### Chapitre 2. Bois de réaction

- 2.1. Contraintes de croissance
- 2.2. Notion de bois de tension et bois de compression
- 2.3. Lien avec le comportement hygroscopique et le comportement différé

### Chapitre 3. Notions de rupture du bois

- 3.1. Faciès de rupture
- 3.2. Ténacité
- 3.3. Énergie de fissuration
- 3.4. Courbes intrinsèques
- 3.5. Critères de rupture
- 3.6. Critères de bifurcation

---

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Ce cours se divise en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposés magistraux hebdomadaires. Des exemples solutionnés sont distribués aux étudiants à chaque chapitre. Les travaux dirigés sont réalisés individuellement ou en équipe en laboratoire. L'utilisation de logiciels spécialisés sera appliquée à chaque travail pratique.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

Des travaux dirigés accompagneront les exposés magistraux pour chaque chapitre.

TP1 : Un travail de session portant sur une thématique approuvée par le professeur sera fait tout au long de la session. Les directives seront données par le professeur au début de la session. Un rapport est attendu par équipe de deux.



## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux dirigés/pratiques	Total		
10	10	20	Chapitre 1. Modélisation du bois	Cours magistral, TP1, et TD1
10	10	20	Chapitre 2. Le bois de réaction	Cours magistral, TD2, TP1
10	10	20	Chapitre 3. Notions de rupture du bois	Cours magistral, TD3, TP1
30	30	60		

### Remarques

Participation aux exercices laboratoires est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (35%)
- Examen final (35%)
- Rapport TP1 (30 %)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATÉRIEL OBLIGATOIRE

*Équipements de protection individuels lors des essais en laboratoire (lunettes de protection, gants, etc.).*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xxxvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xxxvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xxxviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xxxix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xl) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

American Society for Testing and Materials (ASTM) 2008. Annual book of ASTM Standards. Section 4 Construction. Volume 04.10 Wood. West Conshohocken, PA, USA : D143-94 (2000e) Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber D198-05a Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes

Bodig, J. and B.A. Jayne. 1982. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company Inc.

Bowyer, J., R. Shmulsky et J. Haygreen. 2005. Le bois et ses usages. CCDMD. Montréal, Québec.

Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook - Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/fplgtr113.htm>

Gordon, J.E. 1988. The New Science of Strong Materials or why you don't fall through the floor. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA

Hoadley, R.B. 1992. Understanding Wood. A craftsman's guide to wood technology. The Taunton Press. Newtown, Connecticut

Jessome, A.P. 1977. Résistance et propriétés connexes des bois indigènes au Canada. Rapport Technique de Foresterie 21, Laboratoire des Produits Forestiers de l'Est, Ottawa, ON

Madsen, B. 1992. Structural Behavior of Wood. Timber Engineering Ltd. 575 Alpine Court, North Vancouver, British Columbia, Canada

## MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

**PROFESSEUR : (NOM ET TITRE DE FONCTION)**

**CONTACT : (EMAIL DU PROFESSEUR)**

**CRÉDITS : 2**

**HORAIRE : (À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)**

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours vise l'acquisition des compétences de base nécessaires à la conception, à la planification et à la réalisation d'un projet de recherche dans le domaine de la foresterie. Il présente les différentes étapes de mise en œuvre d'un projet de recherche dans un ordre logique et guide les étudiants dans leur travail personnel afin de les aider à gérer efficacement leur projet et atteindre leurs objectifs de recherche.

### PRÉ-REQUIS

Aucun

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Aider les étudiants à planifier un projet de recherche dans l'espace et dans le temps en fonction d'une problématique cible
2. Outiller les étudiants pour gérer efficacement et mener à terme un projet de recherche en cours de réalisation

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Identifier les étapes nécessaires à la mise en œuvre d'un projet de recherche selon un ordre logique maximisant les chances de succès;
2. Proposer un plan de travail réaliste pour un projet de recherche et respecter un échéancier;
3. Identifier les problèmes potentiels pouvant survenir dans un projet de recherche et proposer des solutions pour y faire face;
4. Identifier les ressources nécessaires à la collecte des données et à l'analyse des résultats de recherche selon les règles de l'art;

5. Développer une méthode de travail lui permettant de présenter des résultats de recherche sous forme écrite ou orale.

---

## **DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)**

### **Chapitre 1. Introduction au travail de recherche**

- 1.1 Fondement et origine du questionnement scientifique
- 1.2 La force du savoir et de la preuve scientifique
- 1.3 Les limites de l'inférence et de l'interprétation
- 1.4 L'importance du travail d'équipe
  - 1.4.1 Définition des tâches et des attentes
  - 1.4.2 Équipe de direction et équipe de travail
  - 1.4.3 Développement de partenariats et collaborations en recherche

### **Chapitre 2. La question de recherche comme point de départ**

- 2.1 Cerner et comprendre la problématique à l'étude
  - 2.1.1 Connaître l'importance et les implications du travail de recherche
  - 2.1.2 Définir les limites de l'étude
- 2.2 Savoir se renseigner et connaître la littérature scientifique
- 2.3 Définir les objectifs et les hypothèses de recherche

### **Chapitre 3. Concevoir un plan d'expérience et un protocole de recherche**

- 3.1 Différentes approches pour différentes problématiques
  - 3.1.1 Approches préconisées en sciences sociales
  - 3.1.2 Approches préconisées en sciences naturelles
- 3.2 Choisir un plan d'expérience adapté à la problématique étudiée
- 3.3 Forces et faiblesses de l'approche proposée
  - 3.3.1 Savoir prévenir les problèmes et pouvoir y faire face
  - 3.3.2 S'adapter pour trouver des solutions
- 3.4 Planification et gestion du travail de recherche
  - 3.4.1 Planification, à court, moyen et long terme d'un projet de recherche

3.4.2 Gestion des ressources humaines et de la charge de travail

3.4.3 Gestion des ressources matérielles et financières

#### **Chapitre 4. Méthodes de collecte et de gestion des données**

4.1 Méthodes propres aux données qualitatives et quantitatives

4.2 Données issues d'enquêtes et de sondages

4.3 Données issues de mesures physiques prises sur le terrain

4.4 Archivage des données et entreposage des échantillons

4.5 Transport et contraintes physiques

#### **Chapitre 5. L'analyse et l'interprétation des résultats**

5.1 Les méthodes statistiques : comment analyser les résultats avec les outils adéquats

5.2 La répétition comme élément clé de l'analyse

5.3 Les interprétations statistique et biologique des résultats

#### **Chapitre 6. La diffusion des résultats de recherche**

6.1 La communication écrite

6.1.1 Trouver le fil conducteur de son histoire

6.1.2 L'importance de livrer un message clair

6.1.3 Le plan de travail

6.1.4 Préparation du rapport, du mémoire ou de la thèse

6.1.4.1 Commencer tôt pour gagner du temps

6.1.4.2 L'introduction générale : mise en contexte du travail de recherche

6.1.4.3 Construire un ordre logique entre les différents chapitres

6.1.4.4 La conclusion générale : faire ressortir les avancées scientifiques

6.1.5 Rédaction d'articles scientifiques

6.1.5.1 En dire moins, c'est bien!

6.1.5.2 L'importance de la rédaction succincte pour la publication

6.2 La communication orale

6.2.1 Le choix des mots et des résultats à présenter

6.2.2 L'art oratoire ou savoir comment capter l'attention de l'auditoire

6.2.3 Comment se préparer adéquatement

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Pour la théorie, des exposés magistraux seront utilisés pour présenter des synthèses et des exemples. Ils serviront aussi à orienter les étudiants dans leur travail personnel. Un travail pratique sera réalisé en équipe de trois personnes pour favoriser l'intégration des apprentissages et permettre aux étudiants de mettre en pratique les connaissances théoriques.

L'évaluation des connaissances est effectuée de façon continue au cours de la session: un examen périodique et un examen final viendront s'ajouter au travail pratique et à la présentation orale.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

Le travail pratique doit être réalisé à interligne 1.5 dans une taille de police de 12 points. Il sera réalisé en continu jusqu'à la fin du semestre.

En équipe de trois personnes, les étudiants doivent développer un projet de recherche portant sur une problématique du secteur de la foresterie tropicale en Afrique Centrale. Ce travail doit inclure une brève introduction présentant la problématique à l'étude (1/2 page), une courte revue de la littérature scientifique (2 à 3 pages), les objectifs et les hypothèses de recherche (1/2 à 1 page), la méthodologie choisie (1 page), les résultats attendus (2-3 pages) et les modes de diffusion des résultats choisis (1 page). Le travail doit se terminer par une conclusion générale (1/2 page) et la liste des références consultées adéquatement citées selon les règles de l'art. Un échéancier de réalisation des travaux doit être présenté incluant toutes les étapes de réalisation du projet de même qu'une planification budgétaire de la charge de travail encourue. L'échéancier et le budget doivent être présentés dans des tableaux en annexe.

À l'issue de ce travail, un rapport écrit (10-15 pages) devra être remis et une présentation orale (15 min) devra être faite devant le groupe.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux Pratiques	Totales		
2	0	2	Chapitre 1. Introduction au travail de recherche	Cours magistraux
2	0	2	Chapitre 2. La question de recherche comme point de départ	Cours magistraux
3	3	6	Chapitre 3. Concevoir un plan d'expérience et un protocole de recherche	Cours magistraux Travail pratique

<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	Chapitre 4. Méthodes de collecte et de gestion des données	Cours magistraux Travail pratique
<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	Chapitre 5. L'analyse et l'interprétation des résultats	Cours magistraux Travail pratique
<b>5</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	Chapitre 6. La diffusion des résultats de recherche	Cours magistraux Travail pratique
<b>18</b>	<b>12</b>	<b>30</b>		

### Remarque

La participation aux périodes en classe allouées à l'avancement du travail pratique est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (35%)
- Examen final (35%)
- Travail d'équipe - écrit (20%) et oral (10%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATERIEL OBLIGATOIRE

Aucun

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

À préciser

### Liste des ouvrages recommandés

À préciser

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xli) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xlii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xliii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xliv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xlv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

#### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes



## BIostatistique

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT:</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS:</b>	<b>6</b>
<b>HORAIRE:</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Le cours vise à familiariser les étudiant(e)s aux techniques d'analyse statistique de base, à la gestion des données et la présentation de résultats statistiques. Les modèles linéaires de base (analyse de variance, analyse de covariance, régressions et corrélations), l'analyse de fréquences ainsi que certains dispositifs expérimentaux fréquemment utilisés en foresterie et en sciences biologique appliquées sont présentés.

### PRÉ-REQUIS

Probabilités et statistiques.

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

Permettre à l'étudiant d'acquérir des aptitudes nécessaires pour l'élaboration d'un plan d'expérience, d'utiliser les principaux tests d'analyses statistique, de présenter et interpréter de façon correcte les résultats d'une expérience et d'en tirer les conclusions adéquates.

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Savoir reconnaître les différents types de données et les principales techniques d'analyse associées
2. Maîtriser l'usage des statistiques de base telles que l'écart-type, la somme des carrés et l'erreur-type
3. Comprendre le concept de modèle linéaire
4. Comprendre l'intérêt des dispositifs expérimentaux
5. Être familier avec trois dispositifs d'échantillonnage: complètement aléatoire, apparié et blocs aléatoires
6. Savoir effectuer une analyse de variance à 1, 2 ou 3 facteurs (ANOVA)
7. Savoir effectuer une analyse de covariance (ANCOVA)
8. Savoir quand et comment utiliser les techniques de comparaisons multiples

9. Savoir calculer et interpréter le sens des interactions entre facteurs
10. Savoir analyser la relation entre deux ou plusieurs variables quantitatives
11. Être familier avec l'analyse de données de fréquences
12. Savoir présenter efficacement, de manière écrite et orale, des résultats statistiques

---

## **DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)**

### **Chapitre 1. Notions générales et initiation aux logiciels**

- 1.1. Utilisation des outils statistiques du logiciel Excel
- 1.2. Introduction à l'environnement et à la programmation avec le logiciel SAS
- 1.3. Introduction à l'environnement et à la programmation avec le logiciel R

### **Chapitre 2. Analyse de variance (ANOVA) avec 1 facteur**

- 2.1. Dispositif complètement aléatoire.
- 2.2. Vérification des postulats de base pour l'analyse de la variance.
- 2.3. Procédures de comparaisons multiples

### **Chapitre 3. ANOVA avec 2 facteurs**

- 3.1. Sans répétitions
- 3.2. Avec répétitions
- 3.3. Interactions entre les effets de 2 facteurs

### **Chapitre 4. Analyse de covariance (ANCOVA)**

- 4.1. Réduction de la variance expérimentale
- 4.2. Approche statistique
- 4.3. Règles d'utilisation, avantages et inconvénients

### **Chapitre 5. Dispositifs expérimentaux**

- 5.1. Plans en carré latin
- 5.2. Plans en tiroirs (split-plot) et en tiroirs subdivisés (split-split-plot)
- 5.3. Plans en tiroirs avec restriction à la randomisation (split-block)
- 5.4. Plans avec mesures répétées dans l'espace et dans le temps

## **Chapitre 6. Analyse de données de fréquences**

- 6.1. Définition et utilisation
- 6.2. Mode de présentation (tableau, histogramme, polygone)
- 6.3. Exemples

## **Chapitre 7. Régression Linéaire simple**

- 7.1. Distinction entre régression et corrélation
- 7.2. Principe d'utilisation, caractéristiques et modèle mathématique
- 7.3. Régression linéaire et contrastes polynomiaux

## **Chapitre 8. Régression linéaire multiple et régression non linéaire**

- 8.1. Théorie et modèles mathématiques
- 8.2. Régression linéaire à multiples variables
- 8.3. Régression polynomiale, logarithmique et exponentielle

## **Chapitre 9. Modèles linéaires combinant données catégoriques et quantitatives**

- 9.1. Théorie et modèle mathématique
- 9.2. Exemples d'applications pratiques

## **Chapitre 10. Modèles linéaires généralisés**

- 10.1. Théorie et application à l'analyse de plans d'expériences
- 10.2. Études de cas

---

## **APPROCHE PÉDAGOGIQUE**

Pour la théorie, des exposés magistraux seront utilisés pour présenter les différents tests statistiques et leur application. Des exercices solutionnés seront proposés, afin de favoriser l'intégration des apprentissages et l'application des techniques. Ces exercices se feront en classe ou de façon individuelle.

Des lectures d'articles scientifiques utilisant certaines analyses statistiques vues en cours seront proposées. Des discussions en classe autour de ces lectures permettront ensuite de faire une analyse du test réalisé dans l'étude et de l'interprétation des résultats présentés afin de développer le sens critique des étudiants.

### **Travaux pratiques et travaux dirigés**

Les travaux pratiques (TP) prendront la forme d'études de cas en groupe de 2 à trois personnes afin que les étudiants puissent se familiariser avec les notions théoriques enseignées durant les exposés magistraux. À partir de bases de données fournies par l'enseignant, les étudiants auront à construire

des tests d'hypothèse, analyser les données à partir des tests statistiques adéquats, présenter les résultats de façon appropriés et tirer des conclusions.

TP1 : À partir d'une petite base de données ( $n \leq 20$ ) fournie par l'enseignant, les apprenants doivent calculer les différents éléments de l'analyse de variance (ANOVA à un facteur) et les présenter les résultats de leur calcul dans un tableau selon les règles de l'art. À partir des résultats obtenus, les apprenants doivent comparer les moyennes de deux traitements expérimentaux et tirer les conclusions qui en découlent. Enfin, les apprenants doivent comparer les résultats de leurs calculs à ceux obtenus après avoir fait un test de comparaison des moyennes (test de T) à l'aide d'un logiciel (Excel, R ou SAS). Un rapport écrit doit être remis en équipe de deux à trois personnes

TP2 : À partir d'une base de données fournie par l'enseignant, les étudiants doivent effectuer des analyses de régression (linéaire et non linéaire) à l'aide d'un logiciel (Excel, R ou SAS) et déterminer quelle est la meilleure représentation illustrant la relation entre deux jeux de données. Les apprenants doivent présenter les forces et les faiblesses des régressions effectuées et expliquer ce qui justifie l'emploi d'un modèle de régression donnée plutôt qu'un autre. Ces explications doivent se fonder sur des arguments statistiques et biologiques. Un rapport écrit doit être remis en équipe de deux à trois personnes.

Le choix du logiciel statistique (Excel, R ou SAS) à utiliser est laissé à la discrétion de l'enseignant et de l'institution d'enseignement. Dans le cas où une institution d'enseignement choisi d'acheter une licence d'exploitation pour un logiciel qui n'est pas gratuit, la mise en disponibilité du logiciel à des fins éducatives doit être assurée pour permettre aux apprenant de réaliser leurs activités d'apprentissage.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
3	0	3	Chapitre 1. Notions générales et initiation aux logiciels	Cours magistraux
6	6	12	Chapitre 2. Analyse de variance (ANOVA) avec 1 facteur :	Cours magistraux. Exercices solutionnés. Travaux pratiques(TP1-début)
9	6	15	Chapitre 3. ANOVA avec 2 facteurs	Cours magistraux. Exercices solutionnés. Travaux pratiques(TP1-fin)
9	0	9	Chapitre 4. Analyse de covariance (ANCOVA)	Cours magistraux. Exercices solutionnés.
9	0	9	Chapitre 5. Dispositifs expérimentaux	Cours magistraux. Exercices solutionnés.
3	0	3	Chapitre 6. Données de fréquences	Cours magistraux

6	6	12	Chapitre 7. Régression linéaire simple	Cours magistraux. Exercices solutionnés. Travaux pratiques (TP2-début)
9	6	15	Chapitre 8. Régression linéaire multiple et régression non linéaire	Cours magistraux. Exercices solutionnés. Travaux pratiques (TP2-fin)
6	0	6	Chapitre 9. Modèles linéaires combinant données catégoriques et quantitatives	Cours magistraux. Exercices solutionnés.
6	0	6	Chapitre 10. Modèles linéaires généralisés	Cours magistraux. Exercices solutionnés.
66	24	90		

### Remarques

Participation aux exercices laboratoires est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

L'évaluation des connaissances se fera de façon continue au cours de la session : deux examens (mi-parcours et final) et deux travaux d'équipe.

### Répartition des notes

- Examen partiel (35%)
- Examen final (35%)
- Travail d'équipe 1 (15%)
- Travail d'équipe 2 (15%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un travail entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATÉRIEL OBLIGATOIRE

Une calculatrice scientifique.

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xlvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xlvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xlviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xlix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- l) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

#### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

#### **RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES**

Legendre P. et Legendre L. (2012) Numerical ecology 3rd edition. Elsevier, The Netherlands, 990 pp.

## INTRODUCTION À LA RECHERCHE OPÉRATIONNELLE

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>6 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours pose les bases de la recherche opérationnelle et explore les grandes orientations de la conception des systèmes de production applicable dans les trois principaux secteurs de l'économie des nations : le secteur primaire (l'exploitation), le secteur secondaire (la transformation) et le secteur tertiaires (les services). Ce cours s'appuie sur l'importance de considérer les systèmes de production avec une vue d'ensemble, que ce soit le domaine de la transformation du bois ou que d'autres domaines d'exploitation ou de service. Les notions suivantes seront abordées : les généralités sur l'ingénierie de l'entreprise, la conception des produits et des services, la détermination de la capacité des opérations et la théorie des décisions, la sélection du processus, la conception de l'aménagement, la programmation linéaire, l'organisation scientifique du travail et les courbes d'apprentissage, la localisation, le domaine du transport.

### PRÉ-REQUIS

Mathématiques

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Se familiariser avec les outils de la recherche opérationnelle
2. Comprendre la théorie et les pratique de gestion des opérations, le rôle du gestionnaire des opérations ainsi que les méthodes quantitatives d'aide à la décision

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Utiliser les outils de la recherche opérationnelle
2. Utiliser les techniques de résolution des problèmes à l'aide de modèles de programmation linéaire et de graphes
3. Appliquer les principes de base d'une démarche d'analyse et de conception des systèmes de production des biens et des services
4. Identifier les facteurs à prendre en compte lors de la conception des produits et des services
5. Appliquer les principales techniques d'analyse d'un produit, de choix d'un procédé de fabrication, d'évaluation des capacités, de localisation, d'aménagement d'un système de production et de modèle de transport.

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Généralités sur l'ingénierie en entreprise

- 1.1. Introduction à l'ingénierie de l'entreprise (la production et fonction de l'entreprise, le rôle du gestionnaire, les nouvelles tendances, l'entreprise et son réseau de création de valeur)
- 1.2. La compétitivité, la stratégie et la productivité
- 1.3. Les prévisions
- 1.4. La théorie des graphes et des réseaux
- 1.5. La planification et le contrôle de projet (définition, outils, méthode du chemin critique, méthode PERT)

### Chapitre 2. La programmation linéaire

- 2.1. Modèle de programmation linéaire (PL)
- 2.2. La méthode graphique
- 2.3. La méthode simplexe (l'algorithme, l'utilisation du logiciel MS Excel)

### Chapitre 3. La conception des produits et des services

- 3.1. Introduction et objectifs de la conception des produits et de services
- 3.2. Processus de conception
- 3.3. Les facteurs à considérer au moment de la conception du produit et du processus
- 3.4. Types de produits et de services : Standardisation et normalisation
- 3.5. Conception des produits
- 3.6. Conception des services
- 3.7. Le Déploiement de la Fonction Qualité (DFQ)
- 3.8. Le modèle de Kano
- 3.9. La fiabilité
- 3.10. Les stratégies Opérationnelles

### Chapitre 4. La détermination de la capacité d'opération et la théorie des décisions

- 4.1. L'importance de la détermination de la capacité d'opération
- 4.2. La capacité de production : Une décision stratégique
- 4.3. Les indicateurs de mesure de la capacité de production
- 4.4. Les facteurs qui déterminent la capacité réelle
- 4.5. L'horizon de temps et la détermination de la capacité



- 4.6. L'élaboration d'option de la capacité
- 4.7. L'évaluation des options (Analyse coût-volume, analyse financière, analyse des files d'attente)
- 4.8. La théorie des décisions (Les causes de mauvaises décisions, l'environnement décisionnel, les décisions en situation d'incertitude, les décisions en situation de risque, l'arbre de décision, la valeur prévue en information parfaite, l'analyse de sensibilité)

#### **Chapitre 5. La sélection du processus, la conception de l'aménagement**

- 5.1. La sélection et typologie des processus opérationnels
- 5.2. L'aménagement
- 5.3. Les types d'aménagement
- 5.4. L'aménagement cellulaire
- 5.5. L'aménagement des services
- 5.6. Les raisons de réaménagement
- 5.7. La conception de l'aménagement-produit (l'équilibrage des opérations)
- 5.8. La conception de l'aménagement-processus

#### **Chapitre 6. L'organisation scientifique du travail et les courbes d'apprentissage**

- 6.1. Introduction à l'organisation scientifique du travail
- 6.2. L'étude du travail
- 6.3. L'étude des méthodes
- 6.4. La mesure du travail
- 6.5. La rémunération
- 6.6. La notion de courbes d'apprentissage
- 6.7. Les applications et les limites de courbes d'apprentissage
- 6.8. La loi de Caquot

#### **Chapitre 7. La localisation**

- 7.1. La nature des décisions de localisation
- 7.2. La procédure générale de prise de décisions de localisation
- 7.3. Les facteurs influant les décisions de localisation
- 7.4. La localisation au niveau internationale
- 7.5. L'évaluation des choix de localisation

## Chapitre 8. Le modèle du Transport

- 8.1. L'algorithme du transport
- 8.2. La solution de l'algorithme du transport
- 8.3. La recherche de la solution optimale : Méthode du cycle de changement
- 8.4. La méthode des potentiels (MODI)
- 8.5. L'utilisation du logiciel MS Excel

---

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement représente un volume horaire de 90 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les généralités sur l'ingénierie de l'entreprise, la conception des produits et des services, la détermination de la capacité des opérations et la théorie des décisions, la sélection du processus, la conception de l'aménagement, la programmation linéaire, l'organisation scientifique du travail et les courbes d'apprentissage, la localisation, le domaine du transport.

Des exemples et cas pratiques seront aussi présentés de façon à faciliter l'apprentissage et à bien illustrer les différents concepts à l'étude. Une visite d'entreprise d'exploitation, de transformation et de service est prévue pour les travaux Pratiques.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

TD1 : Travaux dirigés sur les généralités sur l'ingénierie en entreprise et la programmation linéaire

TD2 : Travaux dirigés-Conception des produits et services

TD3 : Travaux dirigés- La détermination de la capacité d'opération et la théorie des décisions

TD4 : Travaux dirigés- La sélection du processus, la conception de l'aménagement.

TD5 : Travaux dirigés - L'organisation scientifique du travail et les courbes d'apprentissage

TD6 : Travaux dirigés – La localisation

TD7 : Travaux dirigés – Le modèle du transport

Un rapport d'équipe (2-3 étudiants) est déposé au terme de chaque TD.

---

### CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux Dirigés	Totals		
5	5	10	Chapitre 1. Généralités sur l'ingénierie en entreprise	Cours magistral et TD1
10	5	15	Chapitre 2. La programmation linéaire	
10	5	15	Chapitre 3. La conception des produits et des services	Cours magistral et TD2
5	5	10	Chapitre 4. La détermination de la capacité d'opération et la théorie des décisions	Cours magistral et TD3
5	5	10	Chapitre 5. La sélection du processus, la conception de l'aménagement	Cours magistral, TD4 et visite d'entreprise
5	5	10	Chapitre 6. L'organisation scientifique du travail et les courbes d'apprentissage	Cours magistral et TD5
5	5	10	Chapitre 7. La localisation	Cours magistral et TD6
5	5	10	Chapitre 8. Le modèle du Transport	Cours magistral et TD7
<b>50</b>	<b>40</b>	<b>90</b>		

### Remarques

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (30%)
- Examen final (35%)
- Travaux et exercices d'équipe (7 x 5% = 35%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATÉRIEL OBLIGATOIRE

À préciser par le professeur.

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- li) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- liii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- liv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur.*

### Liste des ouvrages recommandés

*À préciser par le professeur.*

## INTRODUCTION A LA TRANSFORMATION DU BOIS

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours présente l'industrie du bois du Bassin du Congo et ses nombreux défis à relever. On peut citer, entre autres, la loi interdisant l'exportation des bois sous forme de grumes pour certains pays de la sous-région, l'obligation de suivre au plus près les marchés avec une adaptation permanente aux attentes des clients, la concurrence des autres matériaux, la diminution de débouchés sur certains marchés, les niveaux de transformation du bois, l'émergence des questions environnementales et les problèmes posés par la gestion des déchets, les questions de certification, etc. Il est présenté globalement dans ce cours intégrateur les opérations des transformations dans les différentes unités de production, notamment le sciage, le déroulage, et le tranchage.

### PRÉ-REQUIS

Aucun.

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Cerner l'importance de l'industrie du bois dans le Bassin du Congo
2. Comprendre le procédé de transformation dans les usines de sciage, déroulage et tranchage

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Analyser la situation de l'industrie du bois dans le Bassin du Congo
2. Décrire le procédé de fabrication des débités, des placages déroulés, des placages tranchés
3. Analyser le marché des bois tropicaux au niveau sous-régional et à l'échelle internationale

### DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

#### Chapitre 1. Importance de l'industrie du bois dans le Bassin du Congo

- 1.1. L'industrie du bois dans le Bassin du Congo

- 1.2. Impact de nouvelles lois forestières sur l'industrie du bois (exemple : cas du Gabon et du Cameroun)
- 1.3. Structure de l'industrie et niveau de production du bois dans le Bassin du Congo
- 1.4. Les niveaux de transformation du bois et les produits obtenus
- 1.5. Tendances des marchés et opportunités de transformation à valeur ajoutée dans le Bassin du Congo
- 1.6. La part du marché bois du Bassin du Congo sur le commerce mondial
- 1.7. Impact des certifications sur les marchés
- 1.8. Le circuit transfrontalier des bois dans la sous-région

## **Chapitre 2. Opérations de transformation du bois dans une scierie**

- 2.1. Présentation du circuit matière dans la scierie
- 2.2. Le parc à grumes
- 2.3. Les machines de transformation (scie de tête, scie de reprise, déligneuses, ébouteuses)
- 2.4. Conditionnement des bois (trilage, empilage, marquage, etc.)
- 2.5. Opérations de séchage des débités
- 2.6. Opérations de valorisation de rebuts (amélioration des rendements) et autres formes de valorisation
- 2.7. Opérations d'affûtage
- 2.8. Notions de classement des bois
- 2.9. Produits de sciage et leur utilisation

## **Chapitre 3. Le déroulage**

- 3.1. Étapes de fabrication de placages déroulés
- 3.2. Étapes de fabrication de contreplaqués
- 3.3. Autres utilisations de placages déroulés
- 3.4. Valorisation des rebuts de déroulage

## **Chapitre 4. Le tranchage**

- 4.1. Présentation des types de trancheuses
- 4.2. Mode de débitage des billes avant tranchage
- 4.3. Mode de tranchage
- 4.4. Étapes de fabrication de placages tranchés
- 4.5. Principales utilisations des placages tranchés

4.6. Autres utilisation des placages tranchés

4.7. Valorisation des rebuts de tranchage

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement représente un volume 60 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente l'importance de l'industrie du bois dans le Bassin du Congo, et le procédé de fabrication dans les usines de sciage, déroulage et tranchage.

La composante pratique se déroule au laboratoire de transformation du bois. S'ensuit des visites d'une unité de transformation du bois. L'étudiant doit faire un rapport de visite d'entreprise pour chacune des entreprises visitées.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Visite d'une scierie. Le TP1 consiste à décrire le procédé de transformation du bois dans une scierie. L'étudiant doit remettre un rapport de visite d'usine.

TP2 : Visite d'une usine de déroulage et fabrication des contreplaqués. Le TP2 consiste à décrire le procédé de déroulage et de fabrication des contreplaqués. L'étudiant doit remettre un rapport de visite d'usine.

TP3 : Visite d'une usine de tranchage. Le TP3 consiste à décrire le procédé de tranchage. L'étudiant doit remettre un rapport de visite d'usine.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
10	0	10	Chapitre 1. Importance de l'industrie du bois dans le Bassin du Congo	Cours théoriques et travaux dirigés
15	5	20	Chapitre 2. Opérations de transformation du bois dans une scierie	Cours théoriques et pratiques. TP1
10	5	15	Chapitre 3. Le déroulage	Cours théoriques et pratiques. TP2
10	5	15	Chapitre 4. Le tranchage	Cours théoriques et pratiques. TP3
45	15	60		

## Remarques

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

---

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (35%)
- Examen final (35%)
- Rapports de visite d'usine (3 x 10% = 30%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATÉRIEL OBLIGATOIRE

*Des vêtements appropriés lors des visites en usine.*

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lx) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude



- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

Panshin, A.J.; de Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology - Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company, New York. 722 p.

## SCIAGE DES BOIS

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Le sciage est une opération de transformation primaire du bois.

Le rôle de la scierie est par définition de transformer le bois rond en bois scié, désigné souvent par le terme sciage. La matière première est la grume, qui sera transformée en bois sciés plus ou moins élaborés selon l'étape suivante d'utilisation du produit (livraison chez le client à l'étape scierie ou livraison à la seconde transformation). Donc, la production de bois sciés peut être séchée et livrée à l'état brut chez le client ou bien acheminée comme pré-débits (matière première) de la raboterie pour la fabrication des parquets, profilés et autres moulures dans la même usine.

Il existe plusieurs types de scieries selon les types de grumes (bois tropicaux, bois feuillus ou résineux des régions tempérées). Les techniques de sciage du bois seront développées plus particulièrement dans ce cours. Les opérations de scierie dépendent de l'utilisation finale des produits. Il est présenté également dans ce cours les éléments de conception d'une scierie.

Les opérations générant de la matière première pour les usines de panneaux de particules, panneaux de fibres, pâtes à papier, etc. ne seront pas traitées dans ce cours. Ces technologies sont moins développées dans les Tropiques.

### PRÉ-REQUIS

Introduction à la transformation du bois

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Connaître le procédé de sciage du bois
2. Connaître les équipements et matériels de scierie
3. Connaître les techniques de sciage
4. Comprendre les plans fonctionnels de scierie simple, d'un site de production intégrant la scierie, le séchage et possiblement la seconde transformation

## **OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)**

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Décrire le processus de transformation du bois dans une scierie
2. Identifier les équipements et matériels utilisés dans une scierie
3. Analyser les techniques de sciage
4. Analyser les cas spécifiques de fabrication des produits à la scierie
5. Analyser les circuits matière d'un site de production donné.

## **DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)**

### **Chapitre 1. Généralités**

- 1.1. Le marché (Spécifications contrats sciage par zone géographique et par type de produit, les contraintes du marché de sciage, la spécification du marché locale, etc.)
- 1.2. le sciage
- 1.3. Les produits du sciage
- 1.4. Le séchage des produits de la scierie
- 1.5. Le Rabotage (caractéristiques de la matière première, les produits, etc.)

### **Chapitre 2. Notions de base d'usinage : la dent de scie**

- 2.1. Action des outils de coupe de bois en scierie (géométrie de la denture, formes de denture, conséquences de l'anisotropie du bois sur le sciage, mécanisme des copeaux, angles principaux et secondaires, efforts de coupe, caractéristiques de denture, conditions optimales de coupe, etc.)
- 2.2. Les formes de denture et caractéristiques des porte-outils
- 2.3. Matériaux utilisés pour la fabrication des lames
- 2.4. Applications courantes

### **Chapitre 3. Les différentes méthodes de débit**

- 3.1. Opération de débit (tronçonnage des grumes, sciage premier, sciage de reprise, sciage transversal)
- 3.2. Les surcote de débit (tronçonnage des grumes, sciage premier, sciage de reprise, sciage transversal)
- 3.3. Les différents modes de débit du bois rond ou des grumes

- 3.3.1. Débit en plot
- 3.3.2. Les débits en avivé (débits sur dosse, sur noyau ou quartelot, débit sur noyau avec retournement, débit sur quartier, débit sur « faux-quartier », débit des « petits bois »)
- 3.3.3. Débit longitudinal
- 3.4. Le rendement matière
  - 3.4.1. Définition
  - 3.4.2. Méthode de calcul
  - 3.4.3. Optimisation des rendements

#### **Chapitre 4. Les procédés de transformation (débitage) du bois à la scierie - Opérations et produits**

- 4.1. Schéma graphique des phases de transformation du bois
- 4.2. Tronçonnage (pas d'écorçage sauf situation particulière) : opérations, produits, etc.
- 4.3. Refendage (bille de très gros diamètre, ou situation spécifique)
- 4.4. Sciage premier débit sur scie de tête (technique de montage des lames ruban, technique de programmation des épaisseurs sur la console numérique : Exemple Mudata, technique de démontage des lames, technique de sciage, technique de fixation des laser, technique d'utilisation des bras plaqueurs, des tourne billes, etc.)
- 4.5. Délignage – sciage de reprise-dédoublage (technique de montage des lames pour la production de largeurs standards, largeurs fixes, technique de fixation de laser, technique de délignage)
- 4.6. Éboutage et surcotes d'éboutage (technique d'installation des taquets pour différentes longueurs de bois)
- 4.7. Empilage-conditionnement et expédition

#### **Chapitre 5. Les équipements et machines de scierie**

- 5.1. Le parc à grumes (tronçonneuse, écorceuse : non applicable en générale en scierie tropicale, etc.)
- 5.2. Matériels de l'unité premier débit : scies de tête à lames ruban, scies à refendre à lames ruban ou à chaîne / scie à lames alternatives, scies à lames circulaires, canters : pour bois tempérés.
- 5.3. Équipements de première reprise (scies de reprise à ruban, dédoubleuse, déligneuse)
- 5.4. Équipements de sciage transversal (ébouteuse)

## **Chapitre 6. Empilage et conditionnement des bois**

- 6.1. Empilage manuel (règle de l'empilage, épaisseur de baguette pour AD ou KD, empilage pour séchoir ou réessuyage, hauteur de colis, protection par couverture, cales, Tampon NIMP15, etc.) et empilage mécanisé automatisé
- 6.2. Cubage (application des règles de cubage, largeurs fixes et largeurs standards, plots, poutres, etc.)
- 6.3. Marquage et étiquetage (logo, numéro colis, contrat, date, cérémulage, étiquetage code-barres etc.)

## **Chapitre 7. Équipements de manutention à la scierie et d'évacuation de déchets**

- 7.1. Les fourchettes
- 7.2. Les chariots (élévateurs, traction manuelle, à berceau, à plateau, motorisés, à mâts rétractables, à mâts axés)
- 7.3. Les convoyeurs (à rouleaux lisses ou hélicoïdaux, à bande, à chaîne, à rouleaux biconiques, etc.)
- 7.4. Équipement aériens (dispositif de levage, préhension mécanique, etc.)
- 7.5. Équipements d'aspiration et de convoyage des sciures (turbine, conduite, silos, etc.)
- 7.6. Calcul et installation des turbines et conduites d'aspiration des sciures et copeaux

## **Chapitre 8. Plans fonctionnels de flux matières dans les scieries**

- 8.1. Emplacement de la scierie et configuration du site de production (zone géographique d'exploitation forestière ou d'approvisionnement en grumes, l'énergie, l'environnement social et culturel, topographie du site, facilité de transport, gestion des déchets et risque naturel, etc.)
- 8.2. Plan de masse du site de production (emplacement des bureaux, machine de production, zones de stockage des produits et rebuts, équipements logistiques, etc.)
- 8.3. Plan de circuit matière dans l'usine (scierie simple, scierie et équipements de séchage, complexe intégré : scierie, séchage, seconde transformation)
- 8.4. Plan d'implantation des équipements

---

### **APPROCHE PÉDAGOGIQUE**

L'enseignement sera donné pendant 60 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les généralités sur le sciage, le travail de la dent de scie, les différentes méthodes de débit, les procédés de transformation

(débitage) du bois à la scierie - Opérations et produits, les équipements de machine de scierie, l'empilage et le conditionnement des bois, les équipements de manutention scierie et l'évacuation des déchets, plans fonctionnels de flux matières dans les scieries.

La composante pratique se déroule au laboratoire de transformation du bois et dans les scieries. L'étudiant devra par la suite produire un rapport de visite d'entreprise.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Laboratoire de matériau bois. Le TP1 consiste à observer et à **analyser en laboratoire le mode sciage des échantillons de débités**. L'étudiant devra préciser pour quelle utilisation cherche-t-on à produire chaque mode de débit. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP2 : Laboratoire de matériau bois. Le TP2 **analyser une spécification de contrat de sciage d'une usine donnée**. L'étudiant devra produire un ordre de fabrication de la spécification en précisant toutes les étapes de la production à partir du parc à grumes jusqu'au conditionnement finale. Les équipements à utiliser pour chaque étape de la production du contrat devront être mentionnés sur l'ordre de fabrication, y compris les surcotes d'usinage. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP3 : Visite d'une scierie. Le TP3 **analyser la chaîne de production des débités dans une scierie**. L'étudiant devra décrire le procédé de sciage et préciser dans son rapport les dysfonctionnements constatés. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

### CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
5	0	5	Chapitre 1. Les généralités	Cours théoriques
5	0	5	Chapitre 2. Notions de base d'usinage : la dent de scie	Cours théoriques
5	5	10	Chapitre 3. Les méthodes de débit	Cours théoriques et pratiques. TP1
5	5	10	Chapitre 4. Procédés de transformation (débitage) du bois à la scierie - Opérations et produits	Cours théoriques et pratiques. TP2-TP3
5	5	10	Chapitre 5. Les équipements et machines de scierie	
5	5	5	Chapitre 6. Empilage et conditionnement des bois	
5	0	5	Chapitre 7. Équipements de manutention à la scierie et d'évacuation de déchets	
5	0	5	Chapitre 8. Plans fonctionnels de flux	Cours théoriques et

			matières dans les scieries	pratique
40	20	60		

### Remarque

Participation aux exercices laboratoires est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (35%)
- Examen final (35%)
- Rapports de laboratoires (3 x 10% = 30 %)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATÉRIEL OBLIGATOIRE

*Un habillement adéquat pour la visite de la scierie (ex. : bottes de travail, gants, etc.)*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lxi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lxii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lxiii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lxiv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lxv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

## **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## **RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES**

### **Liste des ouvrages obligatoires**

*À préciser par le professeur*

### **Liste des ouvrages recommandés**

*À préciser par le professeur*



## DÉROULAGE ET TRANCHAGE

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Les industries de déroulage et de tranchage, appelées aussi industries de plaquage, produisent chacune soit des placages déroulés ou des placages tranchés. Les techniques de production de ces derniers sont différentes et exigent de la précision à plusieurs niveaux du processus. Les billes de déroulage ou de tranchage exigent un classement de qualité supérieure permettant d'obtenir un bon rendement. Les placages déroulés permettent généralement de fabriquer les contreplaqués alors que les placages tranchés fournissent généralement de beaux motifs, collés sur la structure des ouvrages et protégés par des vernis. Afin de garantir une qualité supérieure dans un contexte de concurrence actuelle, ce cours prend en compte les tests de contrôle qualité selon les exigences des certifications actuelles (ex. : CTBX, KOMO, BS1088, CARB, E1, CE, etc.)

### PRÉ-REQUIS

Introduction à la transformation du bois

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Connaître le processus de fabrication des placages tranchés et des placages déroulés
2. Connaître le processus de fabrication des contreplaqués
3. Connaître l'utilisation des placages tranchés et placages déroulés
4. Maîtriser la classification des billes destinées au déroulage et au tranchage

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

*Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :*

1. Décrire le processus de fabrication des placages déroulés
2. Décrire le processus de fabrication des placages tranchés
3. Décrire le processus de fabrication des contreplaqués
4. Énumérer les produits de déroulage et de tranchage
5. Distinguer les spécifications de contrats par zone géographique (pays)
6. Classer les billes destinées soit au déroulage soit au tranchage

---

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Les outils de déroulage et de tranchage

- 1.1. Action des outils de coupe de bois au déroulage et au tranchage (géométrie des coupes, effort de coupe, angles caractéristiques, angle de pression, caractéristiques physiques et mécaniques des couteaux, fixation de la barre de compression, barres de compression statique et angulaire, barres de compression tournantes, tranche-fils)
- 1.2. Paramètres déroulage, tranchage et leur influence sur l'effort de coupe

### Chapitre 2. Le déroulage

- 2.1. Classification des billes pour le déroulage par essence (qualité, défauts tolérés, défauts rédhibitoires)
- 2.2. Types de spécifications courantes de contrats de déroulage par zone géographique (pays) et par essence
- 2.3. Types de dérouleuses (description et fonctionnement)
- 2.4. Procédés de fabrication des placages déroulés
- 2.5. Séchage des placages
- 2.6. Les rendements matières et technique d'optimisation
- 2.7. Autres utilisations de placages déroulés
- 2.8. Le déroulage et la dérouleuse (cinématique de la dérouleuse, conditions générales d'un bon déroulage, géométrie fondamentale de déroulage)

### Chapitre 3. Le contreplaqué

- 3.1. Procédés de fabrication des contreplaqués
- 3.2. Adhésifs pour contreplaqués
- 3.3. Caractéristiques des contreplaqués
- 3.4. Dimensions et type de contreplaqués (Dimensions : Épaisseurs, largeurs, longueurs; Types de contreplaqué : Contreplaqué d'intérieur CTBS, Contreplaqué d'ébénisterie, contreplaqué d'extérieur CTBX, contreplaqué de coffrage CTBC, contreplaqué ayant bon comportement en humidité CTBH, contreplaqué ignifugé, lutte contre incendie CTBI, contreplaqué Centrablé 3mm)
- 3.5. Type de certification pour les contreplaqués (CTBX, KOMO, BS1088, CARB, E1, CE, WBP, LLYOD)
- 3.6. Type de collage et qualité des faces de contreplaqué (Types de collage : I et III, type de qualité : II, III, IV)
- 3.7. Conditionnement et mise à FOB des contreplaqué

- 3.8. Utilisations des contreplaqués (type menuiserie, type coffrage, type revêtement de mur, revêtement de toit, etc.)

#### **Chapitre 4. Test de contrôle de qualité des contreplaqués**

- 4.1. Équipements de contrôle
- 4.2. Différents type de test de contrôle
- 4.3. Préparation des échantillons
- 4.4. Mode opératoire selon le type de certification

#### **Chapitre 5. Le tranchage**

- 5.1. Classification des billes pour le tranchage par essence (qualité, défauts tolérés, défauts rédhibitoires)
- 5.2. Types de spécifications de contrats de tranchage par zone géographique (pays) et par essence
- 5.3. Description des types de trancheuses
- 5.4. Mode de débitage des billes avant tranchage
- 5.5. Mode de tranchage
- 5.6. Procédés de fabrication de placages tranchés
- 5.7. Séchage des placages
- 5.8. Massicotage - jointage-Emballage
- 5.9. Principales utilisation des placages tranchés

---

### **APPROCHE PÉDAGOGIQUE**

Ce cours représente un volume horaire de 45 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les outils de coupe de déroulage et de tranchage, le déroulage, le contreplaqué, test de contrôle de qualité des contreplaqués, le tranchage, analyse de fabrication des produits du tranchage ou du déroulage.

La composante pratique se déroule dans les usines de déroulage et de tranchage et dans le laboratoire de contrôle de qualité de contreplaqué. L'étudiant doit produire un rapport suite aux visites d'entreprises et au test de contrôle qualité.

---

### **TRAVAUX PRATIQUES ET TRAVAUX DIRIGÉS**

**TP1 : Visite d'une usine de déroulage.** Le TP1 consistera à une analyse de l'organisation de l'usine, à décrire le procédé de fabrication des contreplaqués. L'étudiant devra dresser un rapport de visite.

**TP2 : Laboratoire de test de contrôle qualité des contreplaqué.** Le TP2 à effectuer le test de résistance de la colle pour plusieurs types de contreplaqué. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

**TP3 : Visite d'une usine de tranchage.** Le TP3 consistera à une analyse de l'organisation de l'usine, à décrire le procédé de fabrication des placages tranchés. L'étudiant devra dresser un rapport de visite.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
6	0	6	Chapitre 1. Les outils de déroulage et de tranchage	Cours théoriques
10	5	15	Chapitre 2. Le déroulage	Cours théoriques et pratiques. TP1
8	5	13	Chapitre 3. Les contreplaqués	
6	5	11	Chapitre 4. Test de contrôle de qualité des contreplaqués	Cours théoriques et pratiques. TP2
10	5	15	Chapitre 5. Le tranchage	Cours théoriques et pratiques. TP3
40	20	60		

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (30%)
- Examen final (30%)
- Rapports de visite d'usine – TP1 et TP3 : (2 x 10% = 20 %)
- Rapport de laboratoire – TP2 (20 %)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Des vêtements appropriés lors des visites en usine (bottes, gants, casque, etc.).*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lxvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lxvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lxviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lxix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lxx) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

*À préciser par le professeur*

## USINAGE I (TECHNIQUE D’AFFUTAGE DES SCIES ET COUTEAUX)

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L’INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours d’usinage présente les différents modes de coupe de bois (coupe orthogonale, coupe périphérique du bois, etc.), l’affûtage des outils de coupe et l’organisation de l’atelier d’affûtage dans une usine de transformation du bois.

### PRÉ-REQUIS

Introduction à la transformation du bois, mécanique du bois

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Comprendre l’action des outils de coupes sur le bois lors des opérations de sciage, délignage, éboutage, rabotage, et lors de toutes les autres opérations de seconde transformation
2. Comprendre le fonctionnement des différents types d’affûteuses.
3. Organiser et gérer un atelier d’affûtage.
4. Détecter et corriger les anomalies constatées sur les outils tranchants.

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l’étudiant sera en mesure de :

1. Décrire les machines de transformation et les différents types d’affûteuses y afférents
2. Analyser l’action des outils de coupe sur le bois (lame à ruban, lame circulaire, fraises, plaquettes et autres outils de seconde transformation)
3. Analyser la mesure du travail dans un atelier d’affûtage (durée de fonctionnement des lames en fonction des essences, cycle de vie des lames, durée de réparation des lames)
4. Appliquer les techniques d’affûtage des scies à ruban, scies circulaires et couteaux de déroulage, tranchage et de seconde transformation
5. Identifier les anomalies sur les lames et les causes de mauvais fonctionnement
6. Organiser l’atelier d’affûtage (équipements, équipes de travail, consommables)
7. Appliquer les règles de calcul relatives à l’affûtage et utiliser les instruments de mesure

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Notions préliminaires

- 1.1. Évolution de la machinerie pour l'usinage du bois
- 1.2. Situation des matières premières
- 1.3. Rappel des propriétés du bois en lien avec les outils de coupe (anatomie, résistance mécanique du bois, évaluation du comportement des espèces de bois à l'usinage)

### Chapitre 2. Coupe orthogonale du bois

- 2.1. Définition de la coupe du bois
- 2.2. Type de coupe du bois (coupe orthogonale, coupe périphérique)
- 2.3. Description de la coupe orthogonale (coupe orthogonale  $90^\circ - 0^\circ$ ) : formation des copeaux
- 2.4. Coupe orthogonale ( $0^\circ - 90^\circ$ ) : formation des copeaux
- 2.5. Coupe orthogonale ( $90^\circ - 90^\circ$ ) : formation de copeaux et force de coupe
- 2.6. Facteurs qui affectent les forces de coupe orthogonale (effet de l'épaisseur de copeaux et de l'angle d'attaque, effet de la vitesse de coupe, effet de l'affûtage, effet de l'orientation du fil)

### Chapitre 3. Coupe périphérique

- 3.1. Définition
- 3.2. Types de coupe périphérique (travail en concondance ou en avalant, travail en opposition)
- 3.3. Terminologie
- 3.4. Relation entre les paramètres (travail en opposition et travail en avalant)
- 3.5. Formation du copeau en coupe longitudinal
- 3.6. Facteurs qui affectent les forces de coupe périphérique (facteurs reliés à l'outils, à l'aménagement, au bois; longueur de la saillie du couteau, forme du contrefer, direction de rotation du porte-outil en relation à la direction de l'alimentation)
- 3.7. Qualité de coupe périphérique (effet de la vitesse du porte-outil, contrôle du défaut de rabotage)
- 3.8. Coupe périphérique transversale (direction  $0^\circ - 90^\circ$  et  $90^\circ - 90^\circ$ , coupe périphérique hélicoïdale)

### Chapitre 4. Action des outils de coupe sur le bois

- 4.1. La géométrie de la denture et des couteaux

- 4.2. Les angles principaux et secondaires de coupe (lames de scie à ruban, scie circulaire et couteaux)
- 4.3. Les efforts de coupe
- 4.4. Influences de la densité et de la dureté du bois sur les outils de coupe

#### **Chapitre 5. Organisation et gestion de l'atelier d'affûtage**

- 5.1. Description sommaire des types d'affûteuses et équipements de l'atelier d'affûtage
- 5.2. Les postes et équipes de travail
- 5.3. Les consommables

#### **Chapitre 6. Notions succinctes des Techniques d'affûtage des lames de sciage, déroulage, tranchage et seconde transformation**

- 6.1. Mathématiques de l'affûtage (Mesure des dimensions linéaires, mesures d'angles et mesure de surface, Calcul de Vitesse et utilisation d'instrument de mesure de vitesse, Relevés et calculs relatifs aux pressions des gaz, fluides et calculs relatifs à des températures; Mesure et calcul des vibrations)
- 6.2. Affûtage des scies à ruban (principes de fonctionnement des affûteuses de scie à ruban, opération de préparation et d'entretien des lames : dentage, soudure, planage, tensionnage, avoyage, affûtage et rectification, stellitage, etc.) principes de réglage des affûteuses, consommables (caractéristiques : meules, stellite, lames, comparateur, etc.), défauts de sciage liés à l'affûtage, méthode de rectification des volants et fixation des guides lames, analyse de la durée de fonctionnement des lames, origine des défauts sur les lames)
- 6.3. Affûtage des scies circulaires (Principes de fonctionnement des affûteuses de scie circulaire, Principes de réglage de l'affûteuse, Opération de préparation et d'entretien des lames, Les consommables/caractéristiques : meules, stellite, lames, comparateur, etc., Analyse de la durée de fonctionnement des lames, origine des défauts sur les scies circulaires)
- 6.4. Affûtage des couteaux de déroulage et de tranchage (Principes de fonctionnement des affûteuses de couteaux, Opération de préparation et d'entretien, rectification de la barre de compression, Montage des couteaux sur les machines et de la barre de compression sur son support, Analyse de la durée de fonctionnement des couteaux, origine des défauts sur les couteaux)
- 6.5. Couteaux de rabotage et outils spéciaux (Principes de fonctionnement des affûteuses de couteaux et outils spéciaux des ateliers de menuiserie industrielle, Opération de préparation et d'entretien des couteaux et outils spéciaux, réglage des affûteuses, Consommables de l'atelier d'affûtage des équipements de seconde transformation ou de menuiserie industrielle, Montage des couteaux, outils spéciaux et réglage des machines de production, Analyse de la durée de fonctionnement des couteaux, origine des défauts sur les couteaux et outils spéciaux)



## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

Ce cours représente un volume horaire de 60h, réparties en deux composantes : théorique et pratique (TP laboratoire et TP atelier d'affûtage).

La composante théorique, sous forme d'exposé magistral présente les notions préliminaires, la coupe orthogonale du bois, la coupe périphérique, les actions des outils de coupe sur le bois, l'organisation et gestion de l'atelier d'affûtage, les techniques d'affûtage des lames de transformation primaire et de seconde transformation.

La composante pratique se déroule dans la salle d'observation du matériel d'affûtage et dans les ateliers d'affûtage de lames de scies à ruban, scies circulaires, ateliers d'affûtage de couteaux de déroulage, de tranchage, ateliers d'affûtage des couteaux et outils spéciaux de menuiserie industrielle ou autre seconde transformation. Au cours des travaux pratiques, les étudiants analysent l'action des outils de coupe sur le bois et ils appliquent les techniques pratiques d'affûtage et d'entretien des lames et couteaux, ils analysent les causes de dysfonctionnement des outils tranchants et proposent des actions correctives.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Visite d'une usine de transformation du bois. Le TP1 consiste à **observer l'action des outils de coupe sur le bois à un poste de production et à analyser la qualité des produits et des copeaux**. L'étudiant devra par la suite analyser les outils de coupe et décrire les éventuelles anomalies constatées. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP2 : Visite d'un atelier d'affûtage d'une scierie, usine de tranchage ou de déroulage. Le TP2 consistera à **une analyse de l'organisation pratique d'un atelier d'affûtage selon le type d'usine**. L'étudiant devra analyser l'organisation du personnel, décrire les équipements, analyser l'utilisation des consommables. L'étudiant devra dresser un rapport de visite.

TP3 : Visite d'une unité de transformation du bois. Le TP3 consiste à **analyser les opérations d'affûtage** des scies à ruban, scie circulaires, couteaux ou outils spéciaux. L'étudiant devra dresser un rapport de visite.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
5	0	5	Chapitre 1. Notions préliminaires	Cours théoriques
7	3	10	Chapitre 2. Coupe orthogonale du bois	Cours théoriques et pratiques. TP1
7	3	10	Chapitre 3. Coupe périphérique	
7	3	10	Chapitre 4. Action des outils de coupe sur le bois	
7	3	10	Chapitre 5. Organisation et gestion de l'atelier d'affûtage	Cours théoriques et pratiques. TP2

<b>10</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	Chapitre 6. Notions succinctes des Techniques d'affûtage des lames de sciage, déroulage, tranchage et seconde transformation	Cours théoriques et pratiques. TP3
<b>43</b>	<b>17</b>	<b>60</b>		

### Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (20%)
- Examen final (20%)
- Rapports de visite d'usine (TP1-2-3) (3 x 20% = 60%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Équipements de protection individuels lors des essais en laboratoire (lunettes de protection, gants, etc.) ou des visites en usine.*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lxxi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lxxii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lxxiii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lxxiv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lxxv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

Cantin, M. 1967. Propriétés d'usinage de seize essences de bois de l'est du Canada. Publication NE 1111F, Direction générale des forêts. Ministère des forêts et du développement rural, Ottawa.

Dalois, C. 1990. Manuel de sciage et d'affûtage. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France, 209 pages.

Deschênes, H., A. Barry, T. Browne, H. Chtourou, Y. Fortin, R.E. Hernández, I. Karidio, M. Paice et J.L. Valade. 2009. L'usinage du bois. Dans: Manuel de foresterie, chapitre 34: Procédés de transformation du bois, publié par l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, , 2e éd., Éditions MultiMondes, Québec, pages 1463-1482.

Hewitt, J. 1986. Armstrong stellite and carbide filer's handbook. Armstrong Manufacturing Company, Portland, Oregon, 124 pages.

Hoadley, R.B. 2000. Machining wood. Dans: Understanding wood. A craftsman's guide to wood technology, chapitre 9. The Taunton Press, Newtown, CT, pp. 158-179.

Jones, C. 1992. Bandsaws, wide blade and narrow-blade types. Seattle, Washington, 133 pages. (T5850 J76 1992).

Jones, C. 1994. Cutterheads and knives for machining wood. Seattle, Washington, 138 pages.

Juan, J. 1992. Comment bien usiner le bois. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, Paris, 140 pages.

Koch, P. 1964. Wood machining processes. Ronald Press Co., New York, 530 pages.

Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on southern pines sites. Volume II: Processing. USDA, Forest Service, Agriculture Handbook number 605.

Kollmann, F.F.P. et W.A. Côté, Jr. 1968. Principles of wood science and technology. Solid Wood. Springer Verlag, New York, 592 pages.

Lihra, T. et S. Ganey. 1999. Machining properties of eastern species and composite panels. Forintek Canada Corp., Eastern Division, Quebec City. Project 2306, 31 pages.

Lunstrum, S.J. 1981. Circular sawmills and their efficient operation. USDA Forest Service.

Quelch, P.S. 1970. Sawfiler's handbook. Armstrong Manufacturing Company, Portland, Oregon, 104 pages. (TS851 Q3 1970)

Quelch, P.S. 1987. Sawmill feeds and speeds. Band and circular rip saws. Armstrong Manufacturing Company, Portland, Oregon, 57 pages. (TS850 Q3 1987)

Sales, C. 1990. La scie à ruban. Théorie et pratique du sciage des bois en grumes. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France, 152 pages.

Wijesinghe, R. 1998. The bandmill book: the complete guide to your industrial bandmill and bandsaw. Tech Pubs, Western Technographics Ltd., North Vancouver, B.C., 116 pages.

Williams, D. et R. Morris. 1998. Machining and related mechanical properties of 15 B.C. wood species. Forintek Canada Corp., Western Division, Vancouver. Special Publication No. SP-39, 31 pages.

Willinston, E.M. 1989. Saws. Design, selection, operation and maintenance. Second Edition. Miller Freeman Publications, 450 pages.

## SÉCHAGE DU BOIS I

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>6 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Pourquoi séchons-nous le bois? Le bois est un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'il est susceptible de perdre et de reprendre de l'humidité en fonction des caractéristiques de l'air ambiant. Ce caractère hygroscopique génère 3 principales contraintes : attaques d'insectes ou de champignons, défauts du bois (retrait, fentes, déformations, etc.), et difficultés à certains niveaux de valorisation du produit (usinage, collage, finition, etc.). Ce cours présente les généralités sur le séchage, l'influence des diverses propriétés du bois sur son comportement au séchage, préparation des bois destinés au séchage et chargement des séchoirs, procédés de séchage, différents procédés artificiels de séchage, régulation des séchoirs à bois, les défauts de séchage, le contrôle de qualité avant, pendant et après séchage.

### PRÉ-REQUIS

Anatomie du bois, physique du bois, mécanique du bois, transformation primaire du bois – sciage

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Comprendre les principes de base du séchage
2. Comprendre la méthode de préparation des bois destinés au séchage (naturel ou artificiel)
3. Maîtriser les procédés de séchage (naturels et artificiels) du bois
4. Comprendre le fonctionnement des équipements de séchage et les programme de séchage

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Utiliser les principes de base du séchage
2. Analyser la méthode de préparation des bois avant la mise en séchoir
3. Analyser les différents procédés de séchage
4. Analyser le Principe de fonctionnement des séchoirs
1. Analyser la régulation des séchoirs et contrôler paramètres de séchage
2. Reconnaître les défauts liés au séchage du bois.

3. Utiliser les instruments de contrôle de séchage (humidité du bois, humidité de l'air, vitesse de l'air, température, etc.)
4. Appliquer la procédure de contrôle qualité avant, pendant et après séchage

---

## **DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)**

### **Chapitre 1. Généralités**

- 1.1. But du séchage
- 1.2. Teneur en humidité cibles et fourchettes de siccité admissibles
- 1.3. Quelques faits historiques
- 1.4. Importance économique du séchage

### **Chapitre 2. Influence des diverses propriétés du bois sur son comportement au séchage**

- 2.1. Caractéristiques anatomiques
- 2.2. Caractéristiques physiques du bois (teneur en humidité; rétractibilité du bois; masse volumique; propriétés mécanique; propriétés thermiques : chaleur spécifique, conductivité thermique, expansion thermique; propriétés de rétention et de mouvement de l'eau : équilibre hygroscopique et énergie libre, conductivité hydrique, l'air; contraintes de séchage)
- 2.3. Relations bois-eau-atmosphère en rapport avec le séchage du bois (l'air et ses caractéristiques, le retrait, la mesure du taux d'humidité)

### **Chapitre 3. Préparation des bois destinés au séchage et chargement des séchoirs**

- 3.1. Empilage des colis de bois (dimensions et types de baguettes : épaisseur de la baguette, épaisseur de bois, style de profils de baguettes, matériaux des baguettes, types d'essence utilisées); Règle de baguettage et mise en place des baguettes (écartement, alignement, etc.); fixation de la hauteur de colis (hauteur de colis fonction de celle du séchoir); dimension des cales, couvertures de protection des colis, défauts de séchage liés à un empilage défectueux
- 3.2. Manutention des colis vers l'aire de ressuyage (choix des engins de manutention, description de l'aire de ressuyage, technique de rangement et gestion de l'aire de ressuyage)
- 3.3. Techniques de chargement des cellules de séchage
- 3.4. L'aéraulique : circulation de l'air dans les séchoirs

### **Chapitre 4. Procédés de séchage**

- 4.1. Séchage naturel à l'air libre (opportunité, avantages et inconvénients, définition, déplacement de l'air dans la pile et organisation du parc, caractéristiques des

baguettes, durée de séchage naturel à l'air libre, défauts courant du séchage à l'air libre et quelques règles pratiques pour améliorer la qualité du bois)

- 4.2. Séchage naturel à l'air forcé (définition, durée du séchage naturel à l'air forcé)
- 4.3. Procédés de séchage artificiels (principes généraux : programme de séchage de base, température d'opération, cellule de séchage, matériaux de construction, types de système de chauffage et source d'énergie, système de ventilation, système d'humidification; préséchage (principe de fonctionnement, durée du préséchage, avantages et inconvénients))

### **Chapitre 5. Différents procédés artificiels de séchage**

- 5.1. Notions de thermodynamique appliquées au séchage
- 5.2. Séchage par pompe à chaleur (principe, types de séchoirs par pompe à chaleur et mode d'opération, durée du séchage, avantage et inconvénients)
- 5.3. Séchage par air chaud climatisée à moyenne température et à haute température (principe de fonctionnement, programme de séchage, durée du séchage, avantage et inconvénients)
- 5.4. Séchage sous vide (principe de fonctionnement, séchage sous vide discontinu, séchage sous vide continu, durée de séchage, avantage et inconvénients)
- 5.5. Procédés spéciaux de séchage: séchage solaire, séchage haute fréquence, séchage micro-ondes.
- 5.6. Fabricants d'équipements de séchage

### **Chapitre 6. Régulation des séchoirs à bois**

- 6.1. But de la régulation
- 6.2. Types de régulation
- 6.3. Instruments de mesure
- 6.4. Critères de sélection d'un système de régulation informatisée

### **Chapitre 7. Défauts de séchage**

- 7.1. Principales causes
- 7.2. Principaux défauts de séchage (Fentes et gerces de bout et de surface; fendillement interne; encroûtement : contrainte résiduelles; cémentation, gauchissement, variation d'humidité, collapse, colorations fongiques, décollement de cernes, colorations chimiques, exsudation de la résines, réduction de résistance et rigidité)
- 7.3. Mesures préventives des défauts de séchage

## Chapitre 8. Contrôle de qualité avant, durant et après le séchage

- 8.1. Définition du concept de qualité
- 8.2. Objectifs du contrôle qualité
- 8.3. Contrôle de qualité avant séchage
- 8.4. Contrôle de qualité au cours du séchage
- 8.5. Contrôle de qualité après le séchage (Au triage et à l'expédition)
- 8.6. Outils de contrôle de qualité

---

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement totalise 90 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique (terrain et laboratoire).

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les généralités sur le séchage, l'influence des diverses propriétés du bois sur son comportement au séchage, préparation des bois destinés au séchage et chargement des séchoirs, procédés de séchage, différents procédés artificiels de séchage, régulation des séchoirs à bois, les défauts de séchage, le contrôle de qualité avant, pendant et après séchage.

La composante pratique doit s'effectuer au laboratoire de séchage et dans une unité de transformation du bois.

#### Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Visite des équipements de séchage dans une usine de transformation du bois. Le TP1 consiste à **appliquer la méthode de mesure de taux d'humidité du bois à l'aide de l'humidimètre à pointe**. L'étudiant devra comparer les valeurs affichées par les modules de régulations à celles obtenues à l'humidimètre à pointe; puis analyser les écarts. L'étudiant devra dresser un rapport de visite.

TP2 : Visite des équipements de séchage dans une usine de transformation du bois. Le TP2 consiste à **analyser la méthode de préparation et de chargement des cellules de séchage dans une unité de transformation du bois**. L'étudiant devra analyser l'empilage, l'épaisseur des baguettes en fonction de l'épaisseur de bois, l'écartement et l'alignement des baguettes, etc.; et décrire les éventuelles anomalies constatées. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP3 : Visite des équipements de séchage dans une usine de transformation du bois. Le TP3 consiste à **analyser les procédés de séchage de l'unité de transformation visitée**. Le système de régulation devra être analysé en particulier. L'étudiant devra mentionner tous les anomalies constatées et établir un rapport de visite.

TP4 : Visite des équipements de séchage dans une usine de transformation du bois. Le TP4 consiste à **analyser qualité des bois à la sortie de séchoir**. L'étudiant devra effectuer un contrôle de qualité sur un lot de bois séchés en conformité avec les critères de qualité de l'usine. Il doit présenter les différents types de défauts constatés et expliquer les causes. Une analyse statique de l'échantillonnage devra être effectuée.



## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
5	0	5	Chapitre 1. Généralités	Cours théoriques
10	0	10	Chapitre 2. Influence des diverses propriétés du bois sur son comportement au séchage	Cours théoriques et pratiques. TP1
5	5	10	Chapitre 3. Préparation des bois destinés au séchage et chargement des séchoirs	Cours théoriques et pratiques. TP2
7	3	10	Chapitre 4. Procédés de séchage	Cours théoriques et pratiques. TP3
15	5	20	Chapitre 5. Différents procédés artificiels de séchage	
10	5	15	Chapitre 6. Régulation des séchoirs à bois	
7	3	10	Chapitre 7. Défauts de séchage	Cours théoriques et pratiques. TP4
6	4	10	Chapitre 8. Contrôle de qualité avant, durant et après le séchage	
65	25	90		

### Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (20%)
- Examen final (20%)
- Rapports de visite d'usine (4 x 15% = 60%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note). La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Des vêtements appropriés pour les visites en usine (bottes, gants, etc.).*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lxxvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lxxvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lxxviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lxxix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lxxx) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

#### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

#### **RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES**

##### **Liste des ouvrages obligatoires**

*À préciser par le professeur*

##### **Liste des ouvrages recommandés**

*À préciser par le professeur*

## SECHAGE DU BOIS II

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Ce cours de séchage est une suite logique du cours de séchage I où certaines notions sont approfondies davantage. Le cours étudie les aspects énergétiques du séchage du bois et aborde les notions de thermodynamique requises pour préparer les étudiants à la maîtrise des mécanismes de séchage et du fonctionnement des équipements de séchage. D'une manière générale les points ci-après sont abordés dans ce cours : le rappel sommaire de la relation thermodynamique reliée au séchage, la théorie de séchage du bois, la consommation énergétique du séchage, le développement d'un programme de séchage, l'analyse économique d'un projet de séchage.

#### PRÉ-REQUIS

Séchage du bois I

#### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Comprendre les relations de thermodynamique reliées au séchage et la théorie du séchage
2. Maîtriser les consommations énergétiques du séchage
3. Connaître les méthodes de montage des programmes de séchage
4. Comprendre l'analyse économique d'un projet de séchage
5. Connaître les règles de base de maintenance des séchoirs

#### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Utiliser les notions de thermodynamique et la théorie du séchage dans les procédés de séchage ou les projets de séchage.
2. Analyser les paramètres de séchage et les programmes de séchage
3. Distinguer les sources d'énergie disponibles pour le séchage
4. Calculer l'énergie nécessaire une les opérations de séchage
5. Analyser le prix de revient de séchage
6. Connaître les règles de maintenance des équipements de séchage

---

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Rappel sommaire de la relation thermodynamique reliée au séchage

- 1.1. Propriété des gaz parfaits (loi de Boyle-Mariotte, loi de Charles, loi de Gay-Lussac, Équation d'état, masse volumique d'un gaz, loi de Dalton)
- 1.2. Thermodynamique classique (objet de la thermodynamique classique, système et environnement, variables d'état, fonction d'état, réversibilité thermodynamique, échange d'énergie et conversion de signe, transformation isothermes et adiabatiques, principe de la thermodynamique classique, enthalpie, compression et détente adiabatique des gaz, loi de joule, enthalpie libre : potentiel thermodynamique; capacité thermique et chaleur spécifique.
- 1.3. Caractéristique de l'air humide et de la vapeur d'eau (température; humidité relative de l'air; humidité absolue; masse volumique et volume spécifiques : masse volumique de l'air humide, masse volumique de l'air sec, masse volumique de la vapeur d'eau, volume spécifique de l'air humide base humide, volume spécifique de l'air humide base sèche; capacité d'absorption de l'air, capacité évaporatrice de l'air, volume d'air humide requis pour le séchage, volume d'air sec requis pour le séchage, enthalpie massique de l'air humide, diagramme de l'air humide, saturation adiabatique
- 1.4. Tension superficielle
- 1.5. Équilibre capillaire dans un système à trois phases
- 1.6. Courbure des surfaces d'eau et pression hydrostatique
- 1.7. Pression capillaire

### Chapitre 2. Théorie de séchage du bois

- 2.1. Les mécanismes en présence
- 2.2. Énergie totale de rétention d'eau dans le bois
- 2.3. Modèle de prédiction du mouvement de l'eau à l'intérieur du bois au séchage (approche du gradient de potentiel hydrique : équation de darcy, équation de conservation de masse; approche du gradient de teneur en humidité : équation de Fick, équation de conservation de masse
- 2.4. Transfert de masse et de chaleur entre le bois et l'air ambiant
- 2.5. Cinétique du séchage
- 2.6. Influence de l'épaisseur sur la vitesse et le temps de séchage
- 2.7. Logiciel de régulation du séchage (Cathild, Thermolegno, Incomac, etc.)

### Chapitre 3. Consommation énergétique du séchage

- 3.1. Sources d'énergie disponibles

- 3.2. Bilan énergétiques de l'opération de séchage
- 3.3. Consommation énergétique globale de l'opération de séchage
- 3.4. Puissance de la chaudière

#### **Chapitre 4. Développement d'un programme de séchage**

- 4.1. Pourquoi utiliser un programme de séchage
- 4.2. Données de base pour le développement d'un programme de séchage
- 4.3. Choix d'un programme de base et tracé de la courbe de séchage
- 4.4. Étuvage, équilibre et conditionnement

#### **Chapitre 5. Analyse technique et économique d'un projet de séchage**

- 5.1. Coût des équipements, de leur mise en place et utilisation
- 5.2. Les coûts des consommables
- 5.3. Les coûts des unités d'œuvre
- 5.4. Détermination de prix de revient du séchage par types d'essences
- 5.5. Analyse de résultats économiques

#### **Chapitre 6. Règles de base de maintenance des équipements de séchage**

- 6.1. Maintenance de base des séchoirs (sondes, clapets, pompe, vanne motorisée, moteur, ventilateur, etc.)
- 6.2. Maintenance de la chaudière et des conduites de transport d'eau (silos, éléments de machines, pompes, foyer, qualité et traitement de l'eau, etc.)
- 6.3. Règle de démarrage des cycles de séchage

---

### **APPROCHE PÉDAGOGIQUE**

L'enseignement totalise 90 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente *Le rappel sommaire* de la relation thermodynamique reliée au séchage, la théorie de séchage du bois, la consommation énergétique du séchage, le développement d'un programme de séchage, l'analyse économique d'un projet de séchage,

La composante pratique doit s'effectuer au laboratoire de séchage dans une usine de transformation du bois équipée de séchoir.

#### **Travaux pratiques et travaux dirigés**

TP1 : Visite des équipements de séchage dans une usine de transformation du bois. Pour un séchoir chargé de d'Ayous, de sapelli ou autres essences; il s'agit d'**évaluer la quantité d'énergie nécessaire pour le cycle complet du séchage**. L'étudiant devra dresser un rapport de visite.

TP2 : Laboratoire de matériaux bois. Le TP consiste à **analyser un échantillon d'une essence de promotion donnée et de proposer un programme de séchage**. Ce TP pourra être exécuté en groupe. Les étudiants doivent préparer leur colis de bois, monter un programme de séchage, lancer le cycle de séchage sur le module de régulation ou à l'ordinateur, suivre le déroulement du cycle jusqu'à la fin du séchage. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP3 : Laboratoire de matériaux. Le TP consiste à **monter un petit projet de conception et de réalisation d'un séchoir à bois**. Le type de séchoir pourra être défini par l'enseignant. Ce projet doit être réalisé par un groupe d'étudiant. Le rapport de projet et les plans de réalisation doivent être transmis à l'enseignant.

TP4 : Visite des équipements de séchage dans une usine de transformation du bois. Le TP4 consiste à **analyser la procédure de maintenance des équipements de séchage et de souligner les anomalies constatées**. Un rapport de visite doit être transmis à l'enseignant.

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
5	0	5	Chapitre 1. Rappel sommaire de la relation thermodynamique reliée au séchage	Cours théoriques
5	5	10	Chapitre 2. Théorie de séchage du bois	Cours théoriques et pratiques. TP1
5	5	10	Chapitre 3. Consommation énergétique du séchage	
10	5	15	Chapitre 4. Développement d'un programme de séchage	Cours théoriques et pratiques. TP2
5	5	10	Chapitre 5. Analyse technique et économique d'un projet de séchage	Cours théoriques et pratiques. TP3 et TP4
5	5	10	Chapitre 6. Règles de base de maintenance des équipements de séchage	
35	25	60		

## Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (20%)

- Examen final (20%)
- Rapports de laboratoire (2 x 15%= 30%)
- Rapports de visite d'usine (2 x 15% = 30%)

#### **Autres précisions**

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

#### **MATERIEL OBLIGATOIRE**

*Des vêtements appropriés pour les visites en usine (bottes, gants, etc.).*

---

#### **RÈGLES DISCIPLINAIRES - PLAGIAT**

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lxxxix) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lxxxii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lxxxiii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lxxxiv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- lxxxv) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

#### **AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION**

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

#### **RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES**

##### **Liste des ouvrages obligatoires**

À préciser par le professeur

### Liste des ouvrages recommandés

- Adamson, A.W. 1990. Physical chemistry of surfaces. 5e éd. John Wiley & Sons, Inc., New York. 777 p.
- Aléon, D., J. Negrie, J. Perez et O. Snieg. 1988. Séchage de sapin, épicéa et de pin sylvestre à haute température. Rapport de recherche, novembre 1988. C.T.B.A. Paris.
- Aléon, D., P. Chanrion, G. Négrié, J. Perez et O. Snieg. 1990. Le séchage du bois: Guide pratique. CTBA, Paris.
- Arganbright, D.G. 1979. State-of-the-Art Report: Development in applied drying technology, 1971-1977. Forest Prod. J. 29(12): 14-20.
- Bachrich, J.L. 1980. Dry kiln handbook. H.A. Simons (International) Ltd, Vancouver, Canada.
- Boone, R.S., M.R. Milota, J.D. Danielson et D.W. Huber. 1992. Quality drying of hardwood lumber. Guidebook-Checklist.
- Breese. M.C. et A.J. Bolton. 1993. The effect of temperature and moisture content on the time-dependent behaviour of isolated earlywood specimens of sitka spruce (*Picea sitchensis*), loaded in compression in the radial direction. Holzforschung 47(6):523-528.
- Cech, M.Y. et F. Pfaff. 1978. Manuel de l'opérateur de séchoir à bois pour l'Est du Canada. Rapport OP-X-192F, Laboratoire des produits forestiers de l'Est, Ottawa.
- Chanrion, P., M. Fouquet et D. Aléon. 1989. Le séchage des résineux. Cahier 131, CTBA, Paris
- Chanrion, P et A. Davesne. 1991. Le séchage des feuillus. Cahier L049, CTBA, Paris.
- Chen, Z., E.M. Wengert et F.M. Lamb. 1994. A technique to electrically measure the moisture content of wood above the fiber saturation. Forest Prod. J. 44(9):57-62.
- Cloutier, A. 1991. Modélisation du séchage du bois basée sur le concept de potentiel hydrique. Thèse de doctorat, Département des sciences du bois, Université Laval, Québec.
- Fabris, S. 1993. Le séchage à haute temperature dans l'est du Canada: conditions de séchage utilisées et qualité du bois. Mémoire de maîtrise, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval.
- Fortin, Y. 2000. Calcul des coûts de séchage. Séminaire – Le Séchage des bois d'apparence, Q-Web, A.M.B.S.Q., Forintek Canada Corp., 5 déc. 2000, Ste-Foy, Québec.
- Fortin, Y. 2009. Le séchage du bois. Manuel de foresterie, Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Éditions MultiMondes. pp. 1408-1423.
- Garrahan, P. et D. Cane. 1988. Analyse des niveaux de déclassement causés par le séchage des sciages de dimensions spécifiées dépinette-pin-sapin. Forintek Canada Corp. Ottawa. 33 p.
- Goring, D.A.I. 1963. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose. Pulp and Paper Magazine of Canada, décembre 1963: T-517-T527.
- Huffman, D.R. et M.Y. Cech. 1972. Séchage par air forcé du bois d'épinette et de sapin baumier au Nouveau-Brunswick. Publ. 1284F, Ministère de l'Environnement, Ottawa.
- Joly, P. et F. More-Chevalier. 1980. Théorie, pratique et économie du séchage des bois. Editions H. Vial, Dourdan, France.
- Keey, R.b. 1972. Drying: principles and practice. Pergamon Press.



- Kollmann, P. F. 1961. High temperature drying, research, application, and experience in Germany. *Forest Prod. J.* 11(11):508-515.
- Kollmann, P.F. et W.A. Côté. 1968. Principles of wood science and technology I. Solid wood. Springer, New York. 592 p.
- Liu, W. 2011. Modelling color changes in wood during conventional drying. Thèse de doctorat, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec. 172 p.
- Mackay, J.F.G. 1973 Plasticizing distorsion-prone softwood studs prior to high-temperature seasoning. *Forest Prod. J.* 22 (6):27-28.
- Maeglin, R. R., Y.J. Liu et S.R. Boone. 1985. High-temperature drying and equalizing: effects on stress relief in yellow-poplar lumber. *Wood and fiber Sci.* 17 (2):240-253.
- McMillen, J.M. et E.M. Wengert. 1978. Drying eastern hardwood lumber. *USDA Agric. Handb.* 528.
- Milota, M.R., R.S. Boone, J.D. Danielson et D.W. Huber. 1991. Quality drying of softwood lumber. Guidebook-Checklist. General Technical Report FPL-IMP-GTR-1, USDA Forest Service, Forest Prod. Lab., Madison, WI.
- Rietz, R.C. et R.H. Page. 1971. Air drying of lumber: a guide to industry practices. *USDA Agric. Handb.* 402.
- Rosen, H. 1980. Psychrometric relationships and equilibrium moisture content of wood at temperatures above 212 F. *Wood Fiber Sci.* 12(3):153-171.
- Salamon, M. 1973. Comparison of kiln schedules for drying spruce. *Forest Prod. J.* 23(3):45-49.
- Simpson, W.T. 1991. Dry kiln operator's manual. *USDA Agric. Handb.* 188, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. 274 p.
- Skaar, C. 1972. Water in wood. Syracuse Univ. Press, Syracuse, N.Y.
- Van Wylen, G.J., R.E. Sonntag et P. Desrochers. 1992. Thermodynamique appliquée. Éditions du Renouveau Pédagogique Inc, Montréal, QC. 781 p.
- Villière, A. 1966. Séchage des bois. 6e éd., Dunod, Paris.

## TRAITEMENT ET PRÉSERVATION DU BOIS

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>2 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Le bois en tant que matériau naturel est sensible à certains agents de dégradation biologique : insectes à larves xylophages, termites dans les régions où cette espèce est implantée, champignons en présence de conditions climatiques anormales des bois. Pour préserver le bois contre ces attaques potentielles, les mesures à prendre, selon les essences, sont le séchage ou le traitement chimique du bois. La technique de préservation par réticulation ne sera présentée que sommairement dans ce cours. Il en est de même de la technique de traitement naturel (gomme-laque, cire, etc.).

### PRÉ-REQUIS

Transformation primaire des bois

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Connaître les méthodes de traitement et les classes de risque des bois
2. Connaître les méthodes de préservation des grumes et des débités
3. Connaître les réglementations nationale et internationale en matière de traitement des bois

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Analyser les classes de risque des bois
2. Connaître les différentes méthodes de préservation du bois
3. Décrire les procédés de préservation des bois
4. Reconnaître les essences du Bassin du Congo vulnérables aux attaques fongicides et/ou insecticides
5. Appliquer la réglementation nationale et internationale en matière de traitement des bois

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Agents de détérioration du bois et classes de risque des bois

- 1.1. Classes de risque des bois (situation d'utilisation, exemple d'emploi, risques biologiques)
- 1.2. Agents de détérioration des bois (phytopathogènes, insectes, champignons et autres microorganismes) et leur mode d'attaque
- 1.3. Reconnaissance des essences commerciales tropicales vulnérables aux insectes et/ou aux champignons

### Chapitre 2. Méthodes de préservation des bois

- 2.1. Préservation par trempage et sous-pression
- 2.2. Traitement physique (séchage, réticulation, etc.)
- 2.3. Traitement naturel (gomme-laque, cire, etc.)
- 2.4. Diagnostic de traitement

### Chapitre 3. Traitement et préservation des grumes

- 3.1. Agents de détérioration des grumes
- 3.2. Procédés de traitement des grumes (méthodes, produits : leurs actions sur le bois (fongicides, insecticides), aspects techniques des formes de traitement, règles d'hygiène et de sécurité, cas particulier de procédé de traitement des poteaux téléphoniques et électriques)
- 3.3. Réglementation en matière de traitement des grumes (réglementations nationale et internationale/produit homologués/produits certifiés, aspects environnementaux)

### Chapitre 4. Traitement des sciages, contreplaqués, panneaux, placages, éléments d'emballage (état vert et/ou sec)

- 4.1. Agents de détérioration des bois transformés (sciage, contreplaqués, etc.)
- 4.2. Traitement des bois (méthode (trempage, fumigation, séchage), les produits, procédés de traitement : leurs actions sur le bois (fongicides, insecticides), aspects techniques, règles d'hygiène et de sécurité)
- 4.3. Réglementation en matière de traitement du bois (réglementations nationale et internationale/produits homologués/produits certifiés, aspects environnementaux)
- 4.4. Application de la NIMP15 (Norme Internationale des Mesures Phytosanitaires)

## Chapitre 5. Traitement sous-pression et sous vide

- 5.1. Les différents types de produits de traitement
- 5.2. Description des procédés
- 5.3. La santé, sécurité et environnement en lien avec ces modes de traitement
- 5.4. Les normes réglementaires

### APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement représente un volume global de 60 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les agents de détérioration et les classes de risque du bois, les méthodes de préservation des bois, le procédé de préservation des grumes, le procédé de préservation des sciages, contreplaqués, etc.

La composante pratique se déroule dans le laboratoire de matériau bois et dans les sites de production du bois équipés de cellules de séchage et/ou de bacs de traitement du bois, ou dans les parcs à grumes où les bois sont traités.

### Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Laboratoire. Le TP1 consiste à observer au laboratoire les agents de détérioration pour un échantillon de bois donné. L'étudiant analysera le mode d'attaque et proposera un type de traitement. Un rapport de laboratoire devra être transmis à l'enseignant

TP2 : Visite d'un parc à grumes où les bois sont traités. Le TP2 consiste à analyser la méthode de traitement utilisée par l'entreprise. L'étudiant doit présenter dans son rapport tous les anomalies constatées. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP3 : Visite d'une zone de trempage du bois dans une scierie et de la zone de traitement des bois par fumigation. Le TP3 consiste à analyser la méthode de traitement de bois par utilisée par l'entreprise. L'étudiant doit présenter dans son rapport tous les anomalies constatées. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

TP4 : Visite des services d'inspection phytosanitaire des bois. Le TP4 consiste à analyser la procédure d'inspection phytosanitaire des bois. L'étudiant devra analyser la conformité et la non-conformité aux normes internationales des mesures phytosanitaires pour un lot de bois donné. Un rapport de TP doit être transmis à l'enseignant.

### CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
3	2	5	Chapitre 1. Agents de	Cours théoriques et

			détérioration du bois et classes de risque des bois	pratiques. TP1
<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	Chapitre 2. Méthodes de préservation des bois	Cours théoriques et pratiques. TP2
<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	Chapitre 3. Traitement et préservation des grumes	
<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	Chapitre 4. Traitement des sciages, contreplaqués, panneaux, placages, éléments d'emballage (état vert et/ou sec)	Cours théoriques et pratiques. TP3-TP4
<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	Chapitre 5. Traitement sous-pression et sous vide	Cours théoriques et pratiques. TP2-TP3-TP4
<b>19</b>	<b>11</b>	<b>30</b>		

### Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (30%)
- Examen final (30%)
- Rapport de visite d'usine (3 x 10% = 30 %)
- Rapport de laboratoire (TP1) (10%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

## MATÉRIEL OBLIGATOIRE

*Des vêtements appropriés pour les visites en usine (bottes, gants, etc.).*

## RÈGLES DISCIPLINAIRES - PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- lxxxvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- lxxxvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- lxxxviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- lxxxix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xc) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

Armstrong, F.H. et J.G. Savory. 1959. The influence of fungal decay on the properties of timber. *Holzforschung* 13(3): 84 - 89.

Association Française de Normalisation (AFNOR). 1989. *Préservation du bois. Recueil de normes françaises*. 2e éd., AFNOR, Paris

American Wood-Preservers' Association (AWPA). 1990. *Book of standards*. AWPA, Stevensville, MD.

Canadian Institute of Timber Construction (CITC). 1980. *Bois traité sous pression*. CITC, Ottawa.

Centre Technique du Bois et de l'ameublement (CTBA). 1979. *Le comportement du bois au feu. Cahier 114*, CTBA, Paris.

Centre Technique du bois et de l'ameublement (CTBA). 1999. *Le traitement curatif du bois dans la construction*. CTBA, Paris. 140 p.

CRIQ, 2003. Profil des produits forestiers deuxième transformation : bois traité. Rapport présenté au Ministère des ressources naturelles par le Centre de recherche industrielle du Québec. Février 1983.

Déon, G. 1986. Manuel de préservation des bois en climat tropical. Centre technique forestier tropical, France. 116 p.

Findlay, W.P.K. 1938. Studies in the physiology of wood-destroying fungi. *Annales of Botany* 4(16): 701 - 712.

Forest Products Research Laboratory (FPRL). 1969. The natural durability classification of timber. Technical Note 40, FPRL, Princes Risborough, England.

Forest Products Research Society (FPS). 1988. Wood protection techniques and the use of treated wood in construction. Proceedings 47358 (M.P. Hamel, Ed.) de la Conférence "Wood protection techniques and the use of treated wood in construction", tenue à Memphis, Tennessee, octobre 28-30, 1987.

Fortin, Y. et J. Poliquin. 1976. Natural durability and preservation of one hundred tropical african woods. International Development Research Centre, Ottawa. 131 p.

Gignac, M. 1992. Évaluation du pouvoir fongicide ou fongistatique des extraits d'écorce d'épinette blanche (*Picea glauca*) pour la protection des bois verts. Mémoire de maîtrise, Département des sciences du bois, Université Laval. 188 p.

Gosselin, L. 1988. Détection précoce des pourritures dans le bois de pin rouge par spectroscopie infrarouge. Thèse de maîtrise, Département des sciences du bois, Université Laval, Ste-Foy (Qué.).

Graham, R.D. et G.G. Helsing. 1979. Wood pole maintenance manual: inspection and supplemental treatment of douglas-fir and western redcedar poles. Research Bulletin 24, Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Oregon.

Hunt, G.M. et G.A. Garratt. 1953. Wood preservation. McGraw-Hill Book Company, N.Y. 2e éd., 417 p.

Lamy, C. 2000. L'industrie de la préservation du bois : tendances récentes sur les marchés américain, canadien et québécois. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, MRN, Québec. 57 p.

Morris, P. et J. Wang. 2006. Wood Preservation in Canada – 2006. Proceedings of Canadian Wood Preserving Association Annual Meeting, Vancouver.

Nicholas, D.D. 1973. Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 1: Degradation and protection of wood. Syracuse Univ. Press, Syracuse, N.Y.

Rayzal, M. 1998. Guide de la préservation du bois. CTBA, Paris, 165 p.

Redding, L.W. 1971. Resistance of timbers to impregnation with creosote. Bulletin 54, Department of Environment, Forest Products Research, HMSO, London.

Richardson, B.A. 1978. Wood preservation. Lancaster: Construction Press. 238 p.

Thompson, R. 1991. The chemistry of wood preservation. Royal Society of Chemistry, Cambridge, U.K. 315 p.

Wilkinson, J.G. 1979. Industrial timber preservation. The Rentokil Library, Associated Business Press, London.



## ADHESIFS POUR BOIS ET PRODUITS DE FINITION

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>4</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

Les adhésifs interviennent à plusieurs niveaux de valorisation du bois. On en rencontre plusieurs catégories. Ils sont utilisés dans presque toutes les types d'usines de transformation du bois notamment les usines de contreplaqué, de panneaux agglomérés, les usines de seconde transformation (meubles, triplis, aboutés, lamellés collé, etc.). Afin de garantir la qualité des produits contenant de la colle, la santé et la sécurité des personnes, plusieurs types de test sont effectués avant la mise en service des produits.

Ce cours présente les polymères et les composites, les différentes classes de colle, l'urée formaldéhyde – formaldéhyde – Mélamine, les résines phénoliques, les matières premières, les isocyanates / polyuréthane, les autres adhésifs, les peintures, la certification des colles et test de résistance des produits de bois collés.

### PRÉ-REQUIS

Chimie du bois

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Connaître les différents types d'adhésifs en transformation du bois (panneaux agglomérés, panneaux de contreplaqué, triplis, lamellé collé, aboutés, etc.)
2. Se familiariser avec la caractérisation des différents types d'adhésifs
3. Connaître le principe actif des différents types d'adhésifs
4. Connaître le type de certification en rapport avec chaque type d'adhésif

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Choisir un type d'adhésif pour un procédé de fabrication de produit précis.
2. Appliquer la méthode de test de contrôle qualité pour chaque type d'adhésifs et pour chaque type de produits.

3. Caractériser les résines phénol-formaldéhydes, urée-formaldéhyde

---

**DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)**

**Chapitre 1. Les polymères et les composites**

- 1.1. Histoire des adhésifs pour bois (types de composite à base de bois)
- 1.2. Les polymères en général
- 1.3. Thermochimie des adhésifs (analyse comparative des intégrales normalisées, diffusion de la colle, la viscosité)

**Chapitre 2. Les différentes classes de colles**

- 2.1. Adhésifs d'origine naturelle (colles d'origine animale, colle d'origine végétale, exemple de formulation d'adhésif naturel)
- 2.2. Présentation des adhésifs en cours de développement (Adhésifs à base de soya)
- 2.3. Les colles de synthèse

**Chapitre 3. Urée formaldéhyde – formaldéhyde – Mélamine – Les résines phénoliques**

- 3.1. Urée formaldéhyde (les marchés pour ce genre de produit, urée formaldéhyde : réactions; autres réaction,
- 3.2. Pouvoir tampon du bois et des adhésifs (définition, effet du pH sur le temps de gel de la colle UF, effet de l'addition des catalyseurs)
- 3.3. Le formaldéhyde
- 3.4. La mélamine
- 3.5. Chimie et recettes
- 3.6. Résumé et cause générales de problèmes éventuels de production en contrôle de qualité (les laminations mélamines à basse pression, les laminations mélamines à haute pression : le FORMICA)
- 3.7. Les résines phénoliques : Phénol-formaldéhydes et résorcine-formaldéhydes (usages, réaction chimiques, variétés); Ligne de colle dans les joints à entures multiples (JEM)

**Chapitre 4. Matière première**

- 4.1. Origine des matières premières (formaldéhydes, urée, phénol, mélamines)
- 4.2. Volume de production et coût
- 4.3. Marché de composites : Amérique du nord et Europe
- 4.4. Facteurs affectants la résistance mécanique du bois

## **Chapitre 5. Autres adhésifs**

- 5.1. Les acétates de polyvinyle (Colle PVA : colle blanche ou colle de menuisier)
- 5.2. Isocyanates/polyuréthane (adhésifs spécifique pour bois, hygiène industrielle)
- 5.3. Adhésif résorcine-formaldéhyde
- 5.4. Adhésif thermofusible (Hotmet ou Bostik)
- 5.5. Adhésif élastomères (Colle contact et pour papier)
- 5.6. Résine Epoxy
- 5.7. Les résines polyesters
- 5.8. Comparaison entre les différents adhésifs

## **Chapitre 6. Les peintures et les vernis**

- 6.1. Types de revêtement (par ordre d'importance, volume utilisé)
- 6.2. Revêtements intérieurs
- 6.3. Revêtements extérieurs (revêtements opaques, revêtements naturelles : donc à apparence naturelle)
- 6.4. Conditions d'application

## **Chapitre 7. Certification des colles et test de résistance des produits de bois de bois collés**

- 7.1. Type de certification pour les contreplaqué (CTBX, KOMO, BS1088, CARB, E1, CE, WBP, LLYOD)
- 7.2. Test de vieillissement de la colle
- 7.3. Test de contrôle de collage de contreplaqué
- 7.4. Test de contrôle des produits aboutés
- 7.5. Test de contrôle de collage de triplis et de lamellé –collé

---

## **APPROCHE PÉDAGOGIQUE**

Ce cours se divise en deux composantes : théorique et pratique (terrain et laboratoire).

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les polymères et les composites, les différentes classes de colles, l'urée formaldéhyde – formaldéhyde – Mélamine, les résines phénoliques, les matières premières, les isocyanates / polyuréthane, les autres adhésifs, les peintures, les traitements qui améliorent les propriétés physiques du bois, la certification des colles et test de résistance des produits de bois collés

La composante pratique est composée de plusieurs travaux pratiques à effectuer en laboratoire.

L'enseignement totalise 60 heures réparties en horaires de cours magistraux et horaires de pratique (laboratoire). Les étudiantes et étudiants pourront compter sur la disponibilité du professeur pour répondre à leurs questions à tout moment.

## Travaux pratiques et travaux dirigés

TP1 : Travaux en laboratoire d'adhésifs pour bois. Le TP1 consiste à effectuer la **synthèse d'une résine phénol-formaldéhyde** de bas poids moléculaire, de haut poids moléculaire; l'étudiant doit dresser un rapport de TP après ses travaux en laboratoire

TP2 : Travaux en laboratoire d'adhésifs pour bois. Le TP2 consiste à **caractériser la résine phénol-formaldéhyde** : viscosité, % solides, PH et temps de prise. L'étudiant devra dresser un rapport de laboratoire

TP3 : Travaux en laboratoire de test de résistance des matériaux. Le TP3 consiste à **tester la résistance au cisaillement par compression** d'adhésifs destinés au collage des composants de bois massif. L'étudiant devra dresser un rapport de laboratoire.

TP4 : Travaux en laboratoire d'adhésifs pour bois. Le TP4 consiste à effectuer la **synthèse de la colle PVA** de menuiserie. L'étudiant devra dresser un rapport de laboratoire

TP5 : Travaux en laboratoire d'adhésifs pour bois. Le TP5 consiste à **caractériser la colle PVA de menuiserie** : viscosité, % solides, PH et temps de prise. L'étudiant devra dresser un rapport de laboratoire

TP6: Travaux en laboratoire de matériaux. Le TP6 consiste à **mesurer la résistance de la colle pour les échantillons de lamellés collés**. L'étudiant devra dresser un rapport de laboratoire

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
5	0	5	Chapitre 1. Les polymères et les composites	Cours magistraux, lectures
5	0	5	Chapitre 2. Les différentes classes de colle	Cours magistraux, lectures
5	5	10	Chapitre 3. Urée formaldéhyde – formaldéhyde – Mélamine – Les résines phénoliques	Cours magistraux, lectures, TP1- TP2
3	2	5	Chapitre 4. Les résines phénoliques	
5	0	5	Chapitre 5. Matière première	
10	5	15	Chapitre 6. Autres adhésifs	Cours magistraux, lectures, TP4-TP5
5	0	5	Chapitre 7. Les peintures	
5	5	10	Chapitre 8. Certification des colles et test de résistance des produits de bois de bois collés	Cours magistraux, lectures, TP3-TP6
43	17	60		

## Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

---

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (20%)
- Examen final (20%)
- Travaux et exercices d'équipe (6 x 10% = 60%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATERIEL OBLIGATOIRE

*Lunettes de sécurité en laboratoire.*

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xc i) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xc ii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xc iii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xc iv) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- xc v) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

Science et technologie du collage, J. Cognard, Presses polytechniques et Universitaires Romandes , Lausanne, Suisse, 2000.

Le collage du bois, G. Elbez, Centre technique du bois et de l'ameublement, Paris, 1991.

Manuel de peintures et vernis, A. Réveillon et P.C. Lacaze, Hermann, Paris, 2005

Wood Adhesives, A. Pizzi, K L Mittal, VSP, Leiden, Hollande /Pays-bas, 2010.

## BIOENERGIE, COGENERATION ET CARBONISATION

<b>ENSEIGNANT :</b>	<b>(NOM ET TITRE DE FONCTION)</b>
<b>CONTACT :</b>	<b>(EMAIL DU PROFESSEUR)</b>
<b>CRÉDITS :</b>	<b>6 CRÉDITS</b>
<b>HORAIRE :</b>	<b>(À COMPLÉTER PAR L'INSTITUTION)</b>

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DU COURS

La préservation de l'environnement est devenue une des préoccupations majeures de l'humanité. Elle fait partie du 7<sup>ème</sup> objectif des millénaires. Le développement de la bioénergie, de la carbonisation et la cogénération à base du bois ou de ses rebuts constitue des points forts susceptibles d'accompagner l'objectif suscit. Plusieurs types de biomasse sont utilisés pour la mise en œuvre des techniques de bioénergie et cogénération. Dans ce cours un accent sera mis sur l'utilisation du bois comme biomasse énergie. Ce cours présente de manière globale : les généralités sur la bioénergie, le bois énergie, les biocarburants, la carbonisation, la technique cogénération, le calcul d'installation de centrale de cogénération à base des rebuts de bois

### PRÉ-REQUIS

Thermodynamique, Séchage 1

### OBJECTIFS GÉNÉRAUX DU COURS

1. Comprendre les techniques de la bioénergie
2. Comprendre les systèmes de production combinée d'électricité et de la chaleur (Cogénération)
3. Comprendre les procédés de carbonisation
4. Connaître le processus de production de biocarburants

### OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DU COURS (SAVOIR-FAIRE)

Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :

1. Distinguer les différentes utilisations des sous-produits du bois pour la production de l'énergie
2. Analyser les différents processus de production d'énergie
3. Superviser les opérations d'une unité de cogénération
4. Étudier les techniques de carbonisation
5. Étudier la filière carbonisation et analyser le marché intérieur et extérieur

## DESCRIPTION DU CONTENU DE COURS (SAVOIRS)

### Chapitre 1. Généralités sur la bioénergie

- 1.1. Définition de la bioénergie
- 1.2. Le bois énergie
- 1.3. Les biocarburants
- 1.4. Le biogaz

### Chapitre 2. Le bois-énergie

- 2.1. La gestion durable et cycle de vie du bois
- 2.2. Le bois énergie dans le monde : Les pays du nord et le bassin du Congo
- 2.3. La ressource en bois énergie (Ressource industrielle : Bois de rebuts en fin de vie, sous-produit des industries du bois; Ressources sylvicoles : Granulés, plaquettes forestières)
- 2.4. Place du bois dans les énergies renouvelables (Les types d'énergies fossiles, les types d'énergie renouvelable, l'importance du bois énergie)
- 2.5. Composition et propriétés du bois (composition chimique du bois, pouvoir calorifique du bois, capacité thermique massique à pression constante, etc)
- 2.6. Procédés de valorisation énergétique du bois (La pyrolyse du bois, la combustion, gazéification, liquéfaction)
- 2.7. Produits de valorisation énergétique du bois (biohuile, gaz, charbon actif, fumées, etc.)

### Chapitre 3. Les biocarburants

- 3.1. Caractéristiques des biocarburants
- 3.2. Production de biocarburant à partir de la biomasse (Alcools et leurs éthers, huiles végétales et leurs éthers)
- 3.3. Le biogaz
- 3.4. Les biocarburants produits à partir du bois et rebus de bois (description de la lignocellulose, bioéthanol, approche technologique, procédés de la biomasse lignocellulosique au biodiesel)
- 3.5. Utilisation des biocarburants : Utilisations des alcools et de leurs éthers, utilisation des huiles végétales et de leurs éthers



#### **Chapitre 4. Carbonisation**

- 4.1. Définition de la carbonisation
- 4.2. Les principaux procédés de carbonisation (Les fours en terre, les fours métalliques)
- 4.3. Méthode traditionnelle de production du charbon
- 4.4. Principe de la carbonisation (Cycle de production de carbonisation, les produits de carbonisation, le temps du cycle selon les essences)
- 4.5. Les réactions endothermiques
- 4.6. Les réactions exothermiques
- 4.7. Analyse des propriétés du charbon selon les types d'essences
- 4.8. Utilisation du charbon (foyers améliorés, cimenteries, etc.)
- 4.9. Évaluation économique de l'activité de carbonisation (Disponibilité et logistique de la matière première, qualité de la matière, les équipements, la production, le personnel, le coût de production, la logistique et transport, le marché, bénéfice direct, bénéfice indirect : environnement)

#### **Chapitre 5. La technique de cogénération**

- 5.1. Définition de la cogénération
- 5.2. Étude de la biomasse-Energie (Types, constituant, valorisation, comparaison, etc)
- 5.3. Analyse de la matière première pour une cogénération à base des rebuts de bois (Qualité et états des rebuts, types d'essences, types de rebuts et pouvoir calorifique, disponibilité, logistique des rebuts)
- 5.4. Système technique de production de la chaleur et de l'électricité à partir du bois ou rebuts de bois : Cogénération (description et schéma fonctionnel du circuit de cogénération)
- 5.5. Techniques de production d'électricité dans un système de cogénération (technique de gazéification : turbine à gaz, moteur à combustion interne; technique de la combustion externe : turbine à vapeur, moteur à vapeur, cycle organique de Rankine, moteur Stirling; schémas descriptifs de systèmes)
- 5.6. Technique de production de la chaleur dans un système de cogénération (Récupération de chaleur sur le système turbine à vapeur ou turbine à gaz, schéma de récupération de chaleur)
- 5.7. Étude économique d'un système de cogénération à rebus de bois
- 5.8. Opportunités de la cogénération pour les pays du bassin du Congo (Pour les industriels, pour les populations locales, pour l'environnement)

## APPROCHE PÉDAGOGIQUE

L'enseignement représente un volume horaire de 60 heures réparties en deux composantes : théorique et pratique.

La composante théorique sous forme d'exposé magistral présente les généralités sur la bioénergie, le bois énergie, les biocarburants, la carbonisation, la technique de cogénération. Pour la partie pratique, des visites d'entreprises sont prévues pour les applications.

### Travaux pratiques

TP1 : Visite d'une usine de transformation du bois. Le TP1 consistera à analyser **la ressources en bois énergie disponible dans les usines de transformation** ; l'étudiant doit dresser un rapport de TP après la visite où les solutions d'utilisation doivent être présentées.

TP2 : Visite d'une centrale de production du biocarburant ou du biogaz. Le TP2 consistera à **analyser l'alternative de production du biocarburant à partir de la ressource ligneuse**.

TP3 : Visite d'un site de production du charbon. Le TP3 consiste à **analyser le procédé de production du charbon** et comparer l'énergie disponible dans le charbon aux autres sources d'énergie.

TP4 : Visite d'un site cogénération à base du bois ou autres produits fibreux. Le TP4 consistera à décrire **le processus de production de l'électricité et de la chaleur à base de la biomasse** (bois, ou autres produits fibreux).

## CALENDRIER

Nombre d'heures			Chapitres	Activités pédagogiques
Cours magistraux	Travaux pratiques	Total		
10	0	10	Chapitre 1. Généralités sur la bioénergie	Cours théoriques
15	5	20	Chapitre 2. Le bois-énergie	Cours théoriques et pratiques. TP1
10	5	15	Chapitre 3. Les biocarburants	Cours théoriques et pratiques. TP2
20	10	30	Chapitre 4. Carbonisation	Cours théoriques et pratique TP3
10	5	15	Chapitre 5. La Cogénération	Cours théoriques et pratique. TP4
65	25	90		

### Remarque

La participation aux exercices en laboratoire est obligatoire pour chaque étudiant(e).

---

## MODALITÉS D'ÉVALUATION

### Répartition des notes

- Examen partiel (30%)
- Examen final (30%)
- Travaux et exercices d'équipe (4 x 10 = 40%)

### Autres précisions

Les notes de cours ou les références ne sont pas permises aux examens.

La qualité du français et la présentation, tant aux examens que dans les laboratoires sont pris en considération lors de l'évaluation (10% de chaque note).

La remise en retard d'un rapport de laboratoire ou de visite d'usine entraîne une pénalité de 10% par jour de retard.

---

## MATERIEL OBLIGATOIRE

Des vêtements appropriés lors des visites en usines (ex. : bottes de travail, gants, etc.)

---

## RÈGLES DISCIPLINAIRES-PLAGIAT

Tout étudiant qui commet une infraction en matière de plagiat, est passible de sanctions. Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives à la protection du droit d'auteur. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- xcvi) copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- xcvii) résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- xcviii) traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- xcix) remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- c) remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

---

## AUTRES RÈGLES DE L'INSTITUTION

- Concernant la qualité du français
- Concernant la présentation des travaux
- Concernant la remise des travaux
- Concernant le plagiat et la fraude
- Concernant la révision de notes

---

## RÉFÉRENCES ET LECTURES SUGGÉRÉES

### Liste des ouvrages obligatoires

*À préciser par le professeur*

### Liste des ouvrages recommandés

*À préciser par le professeur*

**Annexe A : Descriptifs et contenus des enseignements (SAVOIRS et SAVOIRS-FAIRE)**

Code cours	Intitulé du cours	SAVOIRS (exigences cognitives minimales) Au terme de ce cours, l'étudiant aura appris :	SAVOIRS-FAIRE (compétences) Au terme de ce cours, l'étudiant sera en mesure de :
SBO-408	Adhésifs pour bois et produits de finition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les polymères et les composites (<i>historique des adhésifs pour bois, polymères en général, thermochimie des adhésifs</i>)</li> <li>• Les différentes classes de colles (<i>adhésifs d'origine naturelle, présentation des adhésifs en cours de développement, colles de synthèse</i>)</li> <li>• Les résines phénoliques : Urée formaldéhyde – formaldéhyde – Mélamine (<i>pouvoir tampon du bois et des adhésifs, chimie et recettes, résumé et cause générales de problèmes, résines phénoliques : Phénol-formaldéhydes et résorcine-formaldéhydes</i>)</li> <li>• La matière première (<i>origine des matières premières, volume de production et coût, marché de composites, facteurs affectants la résistance mécanique du bois</i>)</li> <li>• Les autres adhésifs (<i>acétates de polyvinyle, isocyanates/polyuréthane, résorcine-formaldéhyde, thermofusible, élastomères, résine Epoxy, résines polyesters, comparaison entre les différents adhésifs</i>)</li> <li>• Les peintures et les vernis (<i>types de revêtement, revêtements intérieurs et extérieurs, conditions d'application</i>)</li> <li>• La certification des colles et les tests de résistance des produits de bois collés (<i>type de certification pour les contreplaqués, test de vieillissement de la colle, test de contrôle de collage de contreplaqué, des</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choisir un type d'adhésif pour un procédé de fabrication de produit précis.</li> <li>• Appliquer la méthode de test de contrôle qualité pour chaque type d'adhésifs et pour chaque type de produits.</li> <li>• Caractériser les résines phénol-formaldéhydes, urée-formaldéhyde.</li> </ul>

<p><b>SBO-101</b></p>	<p><b>Anatomie du bois</b></p>	<p><i>produits aboutés et de collage de triplis et de lamellé –collé)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les caractéristiques du matériau bois et sa structure (<i>domaines de l'anatomie et définitions, structure de l'arbre, formation du bois et de l'écorce, structure macroscopique, constituants chimiques, rapport entre anatomie et propriétés</i>)</li> <li>• La genèse du bois (<i>développement du cambium vasculaire, zones caractéristiques du bois et de l'écorce</i>)</li> <li>• Les anomalies de l'arbre sur pied et les défauts de sa structure (<i>défauts de croissance, conséquences des défauts, classement</i>)</li> <li>• Les principes d'analyse macroscopique des bois (<i>prélèvement d'un échantillon, préparation du bois, observation à l'œil nu, observation à la loupe à main</i>)</li> <li>• Les principes d'analyse microscopique (<i>outils d'observation microscopique, préparation microscopique par coupe minces orientées et par dissociation des éléments du bois, mesures</i>)</li> <li>• L'identification des essences sous forme de grumes et de débités (<i>clef d'identification, identification à partir des caractéristiques, critères de différenciation</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyser à l'œil nu et à l'aide d'une loupe la structure d'un tronc d'arbre suivant les différents plans ligneux : coupes transversale, radiale et tangentielle, puis expliquer comment le bois se forme.</li> <li>• Identifier visuellement, à l'aide d'une loupe à faible grossissement et d'une clé d'identification macroscopique, les principales essences forestières tropicales sous formes de grumes et débités.</li> <li>• Identifier visuellement les anomalies apparaissant sur les différentes espèces sur pied pour le contrôle de l'utilisation.</li> </ul>
<p>SBO-409</p>	<p><b>Bioénergie, cogénération et carbonisation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les généralités sur la bioénergie (définition, bois-énergie, biocarburants, biogaz)</li> <li>• Le bois-énergie (<i>gestion durable et cycle de vie, bois-énergie dans le monde, ressource en bois-énergie, place du bois dans les énergies renouvelables, composition, propriétés et valorisation énergétique du bois</i>)</li> <li>• Les biocarburants (<i>caractéristiques des biocarburants, production de</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinguer les différentes utilisations des sous-produits du bois pour la production de l'énergie.</li> <li>• Analyser les différents processus de production d'énergie.</li> <li>• Superviser les opérations d'une unité de cogénération.</li> </ul>

		<p><i>biocarburant à partir de la biomasse, biogaz, utilisation des biocarburants)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La carbonisation (<i>définition et principes de la carbonisation, principaux procédés, méthode traditionnelle, réactions endothermiques et exothermiques, analyse des propriétés du charbon, utilisation du charbon, évaluation économique</i>)</li> <li>• La technique de cogénération (<i>définition de la cogénération, étude de la biomasse, analyse de la matière première, système technique, techniques de production d'électricité, technique de production de chaleur, étude économique, opportunités</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Étudier les techniques de carbonisation.</li> <li>• Étudier la filière carbonisation et analyser le marché intérieur et extérieur.</li> </ul>
<b>SBO-202</b>	<b>Biostatistiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les notions générales de biostatistique et une initiation aux logiciels (<i>utilisation des outils statistiques du logiciel Excel, introduction au logiciel SAS, introduction au logiciel R</i>)</li> <li>• L'analyse de variance (ANOVA) avec 1 facteur (<i>dispositif complètement aléatoire, vérification des postulats de base pour l'analyse de la variance, procédures de comparaisons multiples</i>)</li> <li>• L'ANOVA avec 2 facteurs (<i>sans ou avec répétitions, interactions entre les effets de 2 facteurs</i>)</li> <li>• L'Analyse de covariance (ANCOVA) (<i>réduction de la variance expérimentale, approche statistique, règles d'utilisation, avantages et inconvénients</i>)</li> <li>• Les dispositifs expérimentaux (<i>plans en carré latin, en tiroirs, en tiroirs subdivisés, en tiroirs avec restriction à la randomisation et avec mesures répétées dans l'espace et dans le temps</i>)</li> <li>• L'analyse de données de fréquences (<i>définition et utilisation, mode de</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir reconnaître les différents types de données et les principales techniques d'analyse associées.</li> <li>• Maîtriser l'usage des statistiques de base telles que l'écart-type, la somme des carrés et l'erreur-type.</li> <li>• Comprendre le concept de modèle linéaire.</li> <li>• Comprendre l'intérêt des dispositifs expérimentaux.</li> <li>• Être familier avec trois dispositifs d'échantillonnage: complètement aléatoire, apparié et blocs aléatoires.</li> <li>• Savoir effectuer une analyse de variance à 1, 2 ou 3 facteurs (ANOVA).</li> </ul>

		<p><i>présentation (tableau, histogramme, polygone)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La régression Linéaire simple (<i>distinction entre régression et corrélation, principe d'utilisation, caractéristiques et modèle mathématique, régression linéaire et contrastes polynomiaux</i>)</li> <li>• La régression linéaire multiple et la régression non linéaire (<i>théorie et modèles mathématiques, régression linéaire à multiples variables, régression polynomiale, logarithmique et exponentielle</i>)</li> <li>• Les modèles linéaires combinant données catégoriques et quantitatives (<i>théorie et modèle mathématique</i>)</li> <li>• Les modèles linéaires généralisés (<i>théorie et application à l'analyse de plans d'expériences</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir effectuer une analyse de covariance (ANCOVA).</li> <li>• Savoir quand et comment utiliser les techniques de comparaisons multiples.</li> <li>• Savoir calculer et interpréter le sens des interactions entre facteurs.</li> <li>• Savoir analyser la relation entre deux ou plusieurs variables quantitatives.</li> <li>• Être familier avec l'analyse de données de fréquences.</li> <li>• Savoir présenter efficacement, de manière écrite et orale, des résultats statistiques.</li> </ul>
SBO-105	<b>Chimie du bois I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes généraux de la structure du bois (<i>anatomie du bois, cellule végétale</i>)</li> <li>• La structure des molécules organiques (<i>hybridation du carbone et formation des liaisons carbone-carbone, orbitales moléculaires des principales fonctions chimiques du bois : acides, aldéhydes, cétones</i>)</li> <li>• Les principes de stéréochimie (<i>isomérisation de constitution et stéréoisomérisation, carbone asymétrique et molécules chirales, convention et configuration R et S, convention des isomères cis et trans, diastéréoisomérisation, composés méso, chiralité dans les monosaccharides</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Établir le lien entre l'arbre et la structure du bois en relation avec sa composition moléculaire et supramoléculaire.</li> <li>• Décrire la structure moléculaire et supramoléculaire de la cellulose et comprendre la réactivité chimique de la cellulose.</li> <li>• Décrire les différences structurales et comprendre la réactivité chimique des hémicelluloses du bois.</li> <li>• Expliquer la formation, décrire la structure et comprendre la réactivité chimique de la</li> </ul>

Master Recherche en Sciences du bois

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cellulose (<i>définition, cellulose dans la nature, biosynthèse, extraction et purification de la cellulose, structure moléculaire et supramoléculaire, comportement vis-à-vis de l'eau et des solvants organiques, réactivité chimique et valorisation</i>)</li> <li>• Les hémicelluloses du bois (<i>généralités, isolement, principales hémicelluloses de la zone tempérée, polysaccharides pectiques du bois, localisation des hémicelluloses, polysaccharides des exsudats et des gommes provenant des arbres, importance</i>)</li> <li>• La lignine (<i>définition et localisation, structure moléculaire, biosynthèse, solubilisation, isolement et détermination de la lignine, liaison covalente entre la lignine et les polysaccharides</i>)</li> <li>• Les extractibles du bois (<i>introduction, distribution des extractibles, importance, classes, extractibles phénoliques du bois, aliphatiques et minéraux</i>)</li> </ul>	<p>lignine ainsi que son comportement face aux agents fongiques du bois.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De décrire les principaux extractibles du bois, d'apprécier leur utilisation actuelle afin d'ouvrir les perspectives d'une valorisation future des extractibles du bois.</li> </ul>
SBO-106	<b>Chimie du bois II</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les Mono et Oligosaccharides (<i>origine et structure, réactivité des monosaccharides, réactivité des oligosaccharides, synthèses totales à partir de monosaccharides</i>)</li> <li>• Les polysaccharides (<i>origine et structure, état solide et solution, réactivité et modification des groupes fonctionnels, polysaccharides industriels</i>)</li> <li>• Les lipides (<i>principaux constituants chimiques : les acides gras et les glycérides, propriétés physico-chimiques des corps gras, réactivité en lipochimie, applications industrielles</i>)</li> <li>• La lignines (<i>influence de la structure des différentes lignines en fonction de la nature du végétal, présentation des principaux procédés d'isolement de la lignine, étude des processus réactionnels, réactivité des lignines et</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire les dérivés du métabolisme des lipides.</li> <li>• Décrire les dérivés du métabolisme des glucides (amidon, éthanol).</li> <li>• Décrire les dérivés pariétaux (fibres, cellulose, lignine).</li> <li>• Décrire les différents types d'extractibles du matériau bois.</li> </ul>



SBO-301	<b>Introduction à la recherche opérationnelle</b>	<p><i>du bois)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes généraux de l'ingénierie en entreprise (<i>introduction à l'ingénierie de l'entreprise, compétitivité, stratégie, productivité, prévisions, théorie des graphes et des réseaux, planification et le contrôle de projet</i>)</li> <li>• La programmation linéaire (<i>modèle de programmation linéaire, méthode graphique, méthode simplex</i>)</li> <li>• La conception des produits et des services (<i>introduction et objectifs, processus de conception, facteurs à considérer, types de produits et de services, déploiement de la Fonction Qualité (DFQ), modèle de Kano, fiabilité, stratégies opérationnelles</i>)</li> <li>• La détermination de la capacité d'opération et la théorie des décisions (<i>importance de la détermination de la capacité d'opération, capacité de production, indicateurs, capacité réelle, horizon de temps, détermination de la capacité, élaboration d'option de la capacité, évaluation des options, théorie des décisions</i>)</li> <li>• La sélection du processus, la conception de l'aménagement (<i>sélection et typologie, aménagement, raisons de réaménagement, conception de l'aménagement-produit, conception de l'aménagement-processus</i>)</li> <li>• L'organisation scientifique du travail et les courbes d'apprentissage (<i>introduction à l'organisation scientifique du travail, étude du travail et des méthodes, mesure du travail, rémunération, notion de courbes d'apprentissage, applications et les limites de courbes d'apprentissage, loi de Caquot</i>)</li> <li>• La localisation (<i>nature des décisions de localisation, procédure générale de prise de décisions de localisation, facteurs influant les décisions de localisation, localisation au niveau internationale, évaluation des choix de</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les outils de la recherche opérationnelle .</li> <li>• Utiliser les techniques de résolution des problèmes à l'aide de modèles de programmation linéaire et de graphes.</li> <li>• Appliquer les principes de base d'une démarche d'analyse et de conception des systèmes de production des biens et des services.</li> <li>• Identifier les facteurs à prendre en compte lors de la conception des produits et des services.</li> <li>• Appliquer les principales techniques d'analyse d'un produit, de choix d'un procédé de fabrication, d'évaluation des capacités, de localisation, d'aménagement d'un système de production et de modèle de transport.</li> </ul>
---------	---	---	---

		<p><i>localisation)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le modèle du Transport (<i>algorithme du transport, solution de l'algorithme du transport, recherche de la solution optimale, méthode des potentiels (MODI), utilisation du logiciel MS Excel</i>)</li> </ul>	
SBO-401	<b>Introduction à la transformation du bois</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'importance de l'industrie du bois en Afrique Centrale (<i>industrie du bois en Afrique Centrale, impact de nouvelles lois forestières, niveaux de transformation du bois et les produits obtenus, tendance des marchés et opportunités de transformation, part du marché bois, impact des certifications, circuit transfrontalier</i>)</li> <li>• Les opérations de transformation du bois dans une scierie (<i>présentation du circuit matière dans la scierie, parc à grumes, machines de transformation, conditionnement des bois, opérations de séchage des débités, de valorisation de rebuts et d'affûtage, classement des bois, produits de sciage</i>)</li> <li>• Le déroulage (<i>étapes de fabrication de placages déroulés et de contreplaqués, autres utilisation de placages déroulés, valorisation des rebuts de déroulage</i>)</li> <li>• Le tranchage (<i>présentation des types de trancheuses, mode de débitage des billes avant tranchage et de tranchage, étapes de fabrication, principales utilisation et valorisation des rebuts des placages tranchés</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyser la situation de l'industrie du bois en Afrique Centrale.</li> <li>• Décrire le procédé de fabrication des débités, des placages déroulés, des placages tranchés.</li> <li>• Analyser le marché des bois tropicaux au niveau sous-régional et à l'échelle internationale.</li> </ul>
SBO-107	<b>Mécanique du bois I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les tenseurs (<i>notions de base (espace vectoriel, repère dual, composantes contravariantes, composantes covariantes), tenseurs euclidiens du second ordre</i>)</li> <li>• Les lois de comportement des milieux continus (<i>description lagrangienne et eulérienne, thermodynamique des milieux continus, principe de causalité et principe d'indifférence matérielle, notion de</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Savoir exprimer un vecteur dans un espace vectoriel en utilisant la notation indicielle et calculer le produit scalaire de deux vecteurs quel que soit la base.</li> <li>• Maîtriser le calcul du repère dual et savoir</li> </ul>

		<p><i>contrainte et de déformations)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les essais mécaniques et les espaces de représentations</li> <li>• Les propriétés mécaniques du matériau bois</li> <li>• Le comportement élastique du matériau bois</li> <li>• Certaines études expérimentales du matériau bois</li> <li>• Le comportement différé du matériau bois</li> </ul>	<p>exprimer les composantes contravariantes et covariantes d'un vecteur ainsi que le passage de l'une à l'autre, en vue d'écrire les opérateurs tensoriels.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprendre la notion de tenseur et définir le tenseur du second ordre qui conduit au tenseur des contraintes et de déformations.</li> <li>• Savoir calculer les opérateurs tensorielles (gradients, divergence, rotationnel et Laplacien).</li> <li>• Connaître les lois de comportement des milieux continus (description Lagrangienne et Eulérienne, thermodynamique des milieux continus, principe de causalité, principe de l'indifférence matérielle ou objectivité).</li> <li>• Connaître les espaces de représentation des modèles.</li> <li>• Connaître les propriétés et le comportement mécanique et élastique (anisotropie) du bois.</li> <li>• Connaître le comportement différé du bois et les effets mécanosortifs (fluage, relaxation, modèles rhéologiques : saint-Venant, Kelvin, Maxwell).</li> </ul>
--	--	--	--

SBO-108	<b>Mécanique du bois II</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La modélisation du bois (<i>couplage mécanosorption/élasticité, couplage mécanosorption /viscoélasticité</i>)</li> <li>• Le bois de réaction (<i>contraintes de croissance, motion de bois de tension et bois de compression, lien avec le comportement hygroscopique et le comportement différé</i>)</li> <li>• Les notions de rupture du bois (<i>faciès de rupture, ténacité, énergie de fissuration, courbes intrinsèques, critères de rupture, critères de bifurcation</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expliquer les étapes de l'élaboration d'un modèle rhéologique.</li> <li>• Analyser les mécanismes qui conduisent à la fissuration du matériau bois.</li> <li>• Analyser et expliquer les modèles rhéologiques utilisés pour décrire la fissuration du bois.</li> </ul>
SBO-103	<b>Physique du bois</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les notions de bases (<i>généralités sur la matière ligneuse, morphologie et structure du bois, anomalies du bois, altération du bois, dessin du bois</i>)</li> <li>• La masse volumique et la porosité (<i>définitions, relation entre Masse volumique anhydre (Do), basale (Db) et humide (DH), technique de mesure de masse volumique, résultats, variations et paramètres de masse volumique</i>)</li> <li>• L'humidité et le comportement hygroscopique (<i>teneur en humidité et état anhydre, technique de mesure de la teneur en humidité, résultats de mesure d'humidité, hygroscopicité et sorption d'humidité, gonflement-retrait</i>)</li> <li>• Les propriétés physico-chimiques du bois (<i>masse volumique de la matière ligneuse, mouvement des fluides dans le bois</i>)</li> </ul> <p style="text-align: center;"><i>Les propriétés mécanique du bois (résistance mécanique du bois, facteurs affectants la résistance mécanique du bois)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les propriétés thermiques du bois (<i>dilatation thermique, chaleur</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir la variabilité et appliquer les méthodes de mesure des propriétés fondamentales du bois.</li> <li>• Analyser les propriétés physico-chimiques, mécaniques, thermiques, électriques et acoustiques du bois.</li> <li>• Comparer les propriétés du bois à celles des autres matériaux et définir les relations entre les différentes propriétés du bois.</li> <li>• Mesurer la perméabilité du bois au gaz et utiliser la loi de Darcy.</li> </ul>

		<p><i>spécifique ou massique, conduction de la chaleur, comportement du bois au feu)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les propriétés électriques du bois (<i>conductivité électrique, propriétés diélectriques</i>)</li> <li>• Les propriétés acoustiques du bois (<i>généralités, transmission dans le bois, utilisation du bois dans l'isolation phonique des bâtiments, utilisation des ultrasons pour l'appréciation de la qualité du bois</i>)</li> </ul>	
SBO-104	<b>Physique du bois avancé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les relations bois-eau-atmosphère (<i>relations thermodynamiques, énergie libre, méthodes de mesure de l'enthalpie et de l'énergie libre de l'eau dans le bois, concept de l'humidité relative de l'air, de la pression capillaire et du potentiel hydrique, mesures des courbes de sorption</i>)</li> <li>• Les théories de la sorption de l'humidité dans le bois (<i>rappel des différents modèles classiques de sorption, introduction à la géométrie des fractales et application aux modèles de sorption</i>)</li> <li>• Le mouvement de masse et de chaleur dans le bois (<i>mouvement des fluides dans le bois en conditions saturées, mouvement de l'humidité et de la chaleur dans le bois en conditions non saturées appliquées au séchage du bois</i>)</li> <li>• La détermination des propriétés physico-chimiques du bois par imagerie et spectroscopie (<i>infrarouge-proche (IR), imagerie de fluorescence, Raman, à force atomique, de résonance magnétique nucléaire et à rayons-X</i>)</li> <li>• Les applications du logiciel Matlab à la simulation de phénomènes d'échange (<i>initiation à Matlab, exemples de simulation de phénomènes</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprendre la complexité des relations bois-eau-atmosphère.</li> <li>• Analyser l'impact des relations bois-eau-atmosphère sur les traitements du bois comme le séchage et son comportement en service.</li> <li>• Évaluer de façon non destructive les propriétés physico-chimiques du bois.</li> <li>• Mesurer la perméabilité du bois au gaz en lien avec son aptitude à l'imprégnation.</li> <li>• Utiliser le logiciel Matlab pour la simulation de phénomènes d'échange.</li> </ul>

		<i>d'échange de masse et de chaleur)</i>	
SBO-405	<b>Séchage du bois I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes généraux (<i>but du séchage, teneur en humidité cibles et fourchettes de siccité admissibles, faits historiques, importance économique du séchage</i>)</li> <li>• L'influence des diverses propriétés du bois sur son comportement au séchage (<i>caractéristiques anatomiques, caractéristiques physiques du bois, relations bois-eau-atmosphère en rapport avec le séchage du bois</i>)</li> <li>• La préparation des bois destinés au séchage et chargement des séchoirs (<i>empilage des colis de bois, manutention des colis vers l'aire de ressuyage, techniques de chargement des cellules de séchage, aéraulique : circulation de l'air dans les séchoirs</i>)</li> <li>• Les procédés de séchage (<i>séchage naturel à l'air libre, séchage naturel à l'air forcé, procédés de séchage artificiels</i>)</li> <li>• Les différents procédés artificiels de séchage (<i>notions de thermodynamique, pompe à chaleur, air chaud climatisée à moyenne température et à haute température, séchage sous vide, procédés spéciaux de séchage, fabricants d'équipements de séchage</i>)</li> <li>• La régulation des séchoirs à bois (<i>but de la régulation, types de régulation, instruments de mesure, critères de sélection d'un système de régulation informatisée</i>)</li> <li>• Les défauts de séchage (<i>principales causes, principaux défauts de séchage, mesures préventives des défauts de séchage</i>)</li> <li>• Le contrôle de qualité avant, durant et après le séchage (<i>définition du concept de qualité, objectifs du contrôle qualité, outils de contrôle de qualité</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les principes de base du séchage.</li> <li>• Analyser la méthode de préparation des bois avant la mise en séchoir.</li> <li>• Analyser les différents procédés de séchage.</li> <li>• Analyser le Principe de fonctionnement des séchoirs.</li> <li>• Analyser la régulation des séchoirs et contrôler paramètres de séchage.</li> <li>• Reconnaître les défauts liés au séchage du bois.</li> <li>• Utiliser les instruments de contrôle de séchage (humidité du bois, humidité de l'air, vitesse de l'air, température, etc.).</li> <li>• Appliquer la procédure de contrôle qualité avant, pendant et après séchage.</li> </ul>

<p><b>SBO-406</b></p>	<p><b>Séchage du bois II</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes généraux de la relation thermodynamique reliée au séchage (<i>propriété des gaz parfaits, thermodynamique classique, l'air humide, vapeur d'eau, tension superficielle, équilibre capillaire dans un système à trois phases, courbure des surfaces d'eau et pression hydrostatique, pression capillaire</i>)</li> <li>• La théorie de séchage du bois (<i>mécanismes en présence, rétention d'eau dans le bois, mouvement de l'eau à l'intérieur du bois au séchage, cinétique du séchage, temps de séchage, logiciel de régulation du séchage, etc.</i>)</li> <li>• La consommation énergétique du séchage (<i>sources d'énergie disponibles, bilan énergétiques de l'opération de séchage, puissance de la chaudière</i>)</li> <li>• Le développement d'un programme de séchage (<i>utilité d'un programme de séchage, données de base, choix d'un programme de base et tracé de la courbe de séchage, étuvage, équilibre et conditionnement</i>)</li> <li>• L'analyse technique et économique d'un projet de séchage (<i>coût des équipements, de leur mise en place et utilisation, des consommables et des unités d'œuvre, détermination de prix de revient du séchage, analyse de résultats économiques</i>)</li> <li>• Les règles de base de maintenance des équipements de séchage (<i>maintenance de base des séchoirs, maintenance de la chaudière et des conduites de transport d'eau, règle de démarrage des cycles de séchage</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliser les notions de thermodynamique et la théorie du séchage dans les procédés de séchage ou les projets de séchage.</li> <li>• Analyser les paramètres de séchage et les programmes de séchage.</li> <li>• Distinguer les sources d'énergie disponibles pour le séchage.</li> <li>• Calculer l'énergie nécessaire une les opérations de séchage.</li> <li>• Analyser le prix de revient de séchage.</li> <li>• Connaître les règles de maintenance des équipements de séchage.</li> </ul>
<p><b>SBO-407</b></p>	<p><b>Traitement et préservation du bois</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les agents de détérioration du bois et les classes de risque des bois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyser les classes de risque des bois.</li> </ul>

		<p><i>(classes de risque des bois, agents de détérioration des bois et leur mode d'attaque, reconnaissance des essences commerciales tropicales vulnérables aux insectes et/ou aux champignons)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les méthodes de préservation des bois <i>(préservation par trempage et sous-pression, traitement physique et naturel, diagnostic de traitement)</i></li> <li>• Le traitement et la préservation des grumes <i>(agents de détérioration des grumes, procédés de traitement des grumes, aspects techniques des formes de traitement, règles d'hygiène et de sécurité, cas particuliers, réglementation en matière de traitement des grumes)</i></li> <li>• Le traitement des sciages, contreplaqués, panneaux, placages et éléments d'emballage (état vert et/ou sec) <i>(agents de détérioration des bois transformés, traitement des bois, réglementation en matière de traitement du bois, application de la NIMP15)</i></li> <li>• Le Traitement sous-pression et sous vide <i>(différents types de produits de traitement, description des procédés, santé, sécurité et environnement en lien avec ces modes de traitement, normes réglementaires)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connaître les différentes méthodes de préservation du bois.</li> <li>• Décrire les procédés de préservation des bois.</li> <li>• Reconnaître les essences du Bassin du Congo vulnérables aux attaques fongicides et/ou insecticides.</li> <li>• Appliquer la réglementation nationale et internationale en matière de traitement des bois.</li> </ul>
SBO-402	<b>Transformation primaire des bois - Sciage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les principes généraux <i>(marché, sciage, produits du sciage, séchage des produits de la scierie, rabotage)</i></li> <li>• Les notions de base de l'usinage : la dent de scie <i>(outils de coupe de bois en scierie, formes de denture et caractéristiques des porte-outils, matériaux utilisés pour la fabrication des lames, applications courantes)</i></li> <li>• Les différentes méthodes de débit <i>(opération de débit, surcote de débit, différents modes de débit, rendement matière)</i></li> <li>• Les procédés de transformation (débitage) du bois à la scierie - Opérations et produits <i>(schéma graphique des phases de transformation du bois, tronçonnage, refendage, sciage premier débit sur</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire le processus de transformation du bois dans une scierie.</li> <li>• Identifier les équipements et matériels utilisés dans une scierie.</li> <li>• Analyser les techniques de sciage.</li> <li>• Analyser les cas spécifiques de fabrication des produits à la scierie.</li> <li>• Analyser les circuits matière d'un site de production donné.</li> </ul>



Master Recherche en Sciences du bois

		<p><i>scie de tête, délignage – sciage de reprise-dédoublage, éboutage et surcotes d'éboutage, empilage-conditionnement et expédition)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les équipements et machines de scierie (<i>parc à grumes, matériels de l'unité premier débit, équipements de première reprise, équipements de sciage transversal</i>)</li> <li>• L'empilage et le conditionnement des bois (<i>empilage manuel, cubage, marquage et étiquetage</i>)</li> <li>• Les équipements de manutention à la scierie et d'évacuation de déchets (<i>fourchettes, chariots, convoyeurs, équipement aériens, équipements d'aspiration et de convoyage des sciures, calcul et installation des turbines et conduites d'aspiration des sciures et copeaux</i>)</li> <li>• Les plans fonctionnels de flux matières dans les scieries (<i>emplacement de la scierie et configuration du site de production, plan de masse du site de production, plan de circuit matière dans l'usine, plan d'implantation des équipements</i>)</li> </ul>	
SBO-403	<b>Transformation primaire des bois - Déroulage et tranchage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les outils de déroulage et de tranchage (<i>action des outils de coupe de bois au déroulage et au tranchage, paramètres déroulage, tranchage et leur influence sur l'effort de coupe</i>)</li> <li>• Le déroulage (<i>classification des billes pour le déroulage, contrats de déroulage, types de dérouleuses, procédés de fabrication des placages déroulés, séchage, rendements matières et technique d'optimisation, déroulage et la dérouleuse</i>)</li> <li>• Le contreplaqué (<i>procédés de fabrication, caractéristiques, adhésifs, dimensions, types, certifications, type de collage, qualité des faces, conditionnement, mise à FOB et utilisations des contreplaqués</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire le processus de fabrication des placages déroulés.</li> <li>• Décrire le processus de fabrication des placages tranchés.</li> <li>• Décrire le processus de fabrication des contreplaqués.</li> <li>• Énumérer les produits de déroulage et de tranchage.</li> <li>• Distinguer les spécifications de contrats par</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les tests de contrôle de qualité des contreplaqués (<i>équipements de contrôle, différents type de test de contrôle, préparation des échantillons, mode opératoire selon le type de certification</i>)</li> <li>• Le tranchage (<i>classification des billes pour le tranchage, contrats de tranchage, types de trancheuses, mode de débitage, mode de tranchage, fabrication de placages tranchés, séchage, massicotage - jointage- Emballage, utilisation</i>)</li> </ul>	<p>zone géographique (pays).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Classer les billes destinées soit au déroulage soit au tranchage.</li> </ul>
<b>SBO-102</b>	<b>Ultra structure du bois</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les notions générales sur le bois (<i>principales caractéristiques, utilisation</i>)</li> <li>• La description microscopique des bois résineux (<i>trachéides longitudinales, canaux résinifères, parenchymes, rayons ligneux, ponctuations des champs de croisement</i>)</li> <li>• La description microscopique des bois feuillus (<i>vaisseaux, types de perforations, distribution des vaisseaux, fibres trachéides, parenchymes, rayons ligneux</i>)</li> <li>• La paroi cellulaire: structure et composition chimique (<i>lamelle moyenne, paroi primaire et secondaire, composition chimique, ponctuations des parois cellulaires</i>)</li> <li>• La variabilité du bois (<i>variabilité à l'intérieur d'une tige, variabilité à l'intérieur d'une espèce</i>)</li> <li>• La qualité du bois et la sylviculture (<i>motion de qualité du bois, effet de certains traitements sylvicoles sur la qualité du bois</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire la composition chimique et la structure de la paroi cellulaire.</li> <li>• Connaître les principaux éléments de la structure microscopique des bois résineux et feuillus.</li> <li>• Pouvoir identifier aux niveaux macroscopique et microscopique un certain nombre de bois commerciaux de l'Afrique Centrale.</li> <li>• Connaître l'impact de l'anatomie cellulaire et la structure du bois sur les procédés de transformation et l'utilisation du bois.</li> <li>• Décrire la variabilité du bois à l'intérieur d'une espèce et à l'intérieur d'un arbre.</li> <li>• Décrire l'impact des conditions de croissance sur les propriétés du bois et sur la transformation et l'utilisation.</li> <li>• Comprendre les bases du système forestier</li> </ul>

			<p>québécois et son impact sur la qualité des approvisionnements en bois.</p>
<p><b>SBO-404</b></p>	<p><b>Usinage I (technique d'affûtage des scies et couteaux)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les notions préliminaires de l'usinage (<i>évolution de la machinerie pour l'usinage du bois, situation des matières premières, rappel des propriétés du bois en lien avec les outils de coupe</i>)</li> <li>• La coupe orthogonale du bois (<i>définition, type de coupe, coupe orthogonale (90°-0°, 0°-90° et 90°-90°), facteurs qui affectent les forces de coupe orthogonale</i>)</li> <li>• La coupe périphérique (<i>définition, types de coupe périphérique, terminologie, relation entre les paramètres, formation du copeau en coupe longitudinal, facteurs qui affectent les forces de coupe périphérique, qualité, coupe périphérique transversale</i>)</li> <li>• L'action des outils de coupe sur le bois (<i>géométrie de la denture et des couteaux, angles principaux et secondaires de coupe, efforts de coupe, influences de la densité et de la dureté du bois sur les outils de coupe</i>)</li> <li>• L'organisation et la gestion de l'atelier d'affûtage (<i>description sommaire des types d'affûteuses et équipements de l'atelier d'affûtage, postes et équipes de travail, consommables</i>)</li> <li>• Les notions succinctes des Techniques d'affûtage des lames de sciage, déroulage, tranchage et seconde transformation (<i>mathématiques de l'affûtage, affûtage des scies à ruban, principes de réglage des affûteuses, consommables, affûtage des scies circulaires, affûtage des couteaux de déroulage et de tranchage, couteaux de rabotage et outils spéciaux</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire les machines de transformation et les différents types d'affûteuses y afférents.</li> <li>• Analyser l'action des outils de coupe sur le bois (lame à ruban, lame circulaire, fraises, plaquettes et autres outils de seconde transformation).</li> <li>• Analyser la mesure du travail dans un atelier d'affûtage (durée de fonctionnement des lames en fonction des essences, cycle de vie des lames, durée de réparation des lames).</li> <li>• Appliquer les techniques d'affûtage des scies à ruban, scies circulaires et couteaux de déroulage, tranchage et de seconde transformation.</li> <li>• Identifier les anomalies sur les lames et les causes de mauvais fonctionnement.</li> <li>• Organiser l'atelier d'affûtage (équipements, équipes de travail, consommables).</li> <li>• Appliquer les règles de calcul relatives à l'affûtage et utiliser les instruments de mesure.</li> </ul>





UNIVERSITÉ  
LAVAL