

E-learning synchrone pour la formation aux techniques de fabrication et réparation des structures en matériaux composites

S. MOUTON, J.M. DESTIBARDE

Université Bordeaux 1 ; C.R.I.M.A, 351, Cours de la Libération 33405 Talence cedex France,
tél : (33) (0) 540 006 220, fax : (33) (0)5 40 00 69 64, serge.mouton@u-bordeaux1.fr

Résumé :

L'industrialisation et la réparation de structures en matériaux composites impliquent l'utilisation de moyens techniques spécifiques, la mise en œuvre de règles métier et la connaissance du processus d'obtention du matériau. Le e-learning de la fabrication ou de la réparation doit donc permettre de corréler la qualité de fabrication aux paramètres du processus d'obtention : procédé et matériaux. La réussite du e-learning est en grande partie liée au scénario d'apprentissage utilisé. Le scénario proposé intègre l'aspect manuel de la mise en œuvre et l'interaction entre les matières premières (renfort et matrice) qui nécessitent d'utiliser des moyens expérimentaux et une approche inductive pour ce e-learning. L'université de Bordeaux 1 possède les moyens techniques (en terme de fabrication et de communication à distance) et les ressources humaines adaptés à ce type d'apprentissage. Le but de cet article est de proposer un scénario pour un e-learning basé sur un procédé très répandu de fabrication de structures en matériaux composites.

Abstract :

Industrialization and repair of composite material structures involve the use of specific technical tools, the implementation of manufacturing rules and the knowledge of the manufacturing material process. E-learning for manufacture or repair must allow correlating the manufacturing quality with process parameters. The e-learning success is largely related to learning scenario used. The proposed scenario incorporates the aspect of manual manufacturing and interaction between raw materials (matrix and reinforcement) that require the use of experimental methods and inductive approach. The University of Bordeaux 1 has the technical tools (in terms of manufacturing and communication) and human resources suited to this kind of learning. The purpose of this paper is to propose a scenario for e-learning based on an important process of manufacturing composite material structures.

Mots clefs : e-learning, matériaux composites, fabrication, règles métier, formation inductive.

1 Introduction

L'apprentissage de l'industrialisation des structures en matériaux composites implique de connaître plusieurs processus de fabrication. Chaque processus de fabrication est associé à des règles métier garantissant un résultat optimal d'un point de vue de la qualité de fabrication (géométrique et santé matériau). La qualité finale de fabrication est aussi étroitement liée à la connaissance des phénomènes physiques impliqués dans l'obtention du matériau composite. Une formation à l'industrialisation nécessite donc de présenter des gestes métier et d'aborder de façon inductive les phénomènes physiques impliqués dans la fabrication.

Les moyens techniques mis en œuvre peuvent, en fonction des processus de fabrication, être coûteux et complexes à utiliser. Les temps de fabrication sont généralement longs en rapport avec les durées classiques des enseignements universitaires. Le e-learning peut donc être une solution intéressante sous condition de construire des scénarii pertinents.

2 Fabrication des structures en matériaux composites

La fabrication des composites à matrice organique est organisée autour de deux grandes familles de procédés : les procédés voie humide et les procédés voie sèche. Le scénario d'apprentissage proposé dans cet article est basé sur un procédé de type voie sèche. Cette méthode de fabrication est la plus simple à mettre en

œuvre et peut ainsi permettre aux étudiants à distance de reproduire à moindre coût le processus de fabrication si nécessaire.

2.1 La voie sèche

La voie sèche implique d'utiliser des renforts fibreux associés à la matrice, ce sont des semi-produits appelés couramment : pré-imprégnés. Ces pré-imprégnés sont stockés à -18°C afin de ralentir la transformation d'état de la matrice (réticulation). La mise en œuvre de ce type de produit nécessite l'utilisation de plusieurs moyens techniques et consommables : un outillage métallique (le moule), une étuve ou un autoclave, un compresseur, des tissus techniques et des outillages de découpage.

L'industrialisation de pièces par voie sèche implique d'appréhender le principe d'obtention du matériau composite qui dans notre approche consistera à réduire le taux massique de matrice de la pièce fabriquée par rapport au taux massique de la préforme en pré-imprégnés. Cette réduction est obtenue grâce à un choix judicieux d'empilement de tissus techniques et un cycle thermique de cuisson adapté.

La compréhension de l'évolution de l'état de la matrice durant les différentes étapes du cycle thermique est nécessaire dans le choix de la séquence d'empilement des tissus techniques. Le cycle thermique est fonction du moyen du moyen de chauffe (autoclave ou étuve) et des contraintes liées à la fabrication (type d'outillage, joint et consommables utilisés, etc.). Le cycle thermique de cuisson (autoclave) et l'évolution de la viscosité et du temps de gel de la résine utilisée dans la séquence e-learning sont présentés en figure 1.

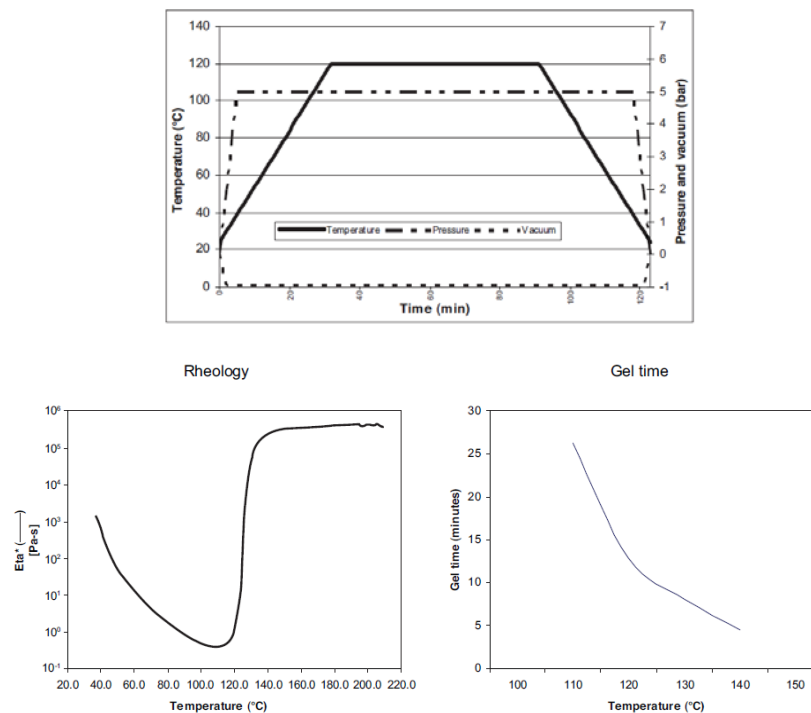


FIG. 1 – Cycle de cuisson, viscosité et temps de gel en fonction du temps d'une matrice M 10.1 [1].

La lecture des graphes est réalisée lors de la séquence de e-learning et a pour but de comprendre comment le cycle thermique de cuisson a été obtenu. L'analyse de l'évolution de la viscosité et du temps de gel de la matrice en fonction du temps permet de comprendre les phénomènes physiques en jeu lors de la cuisson de la matrice.

Le temps nécessaire pour fabriquer une pièce ou des éprouvettes est important car il intègre : le temps de découpage des pré-imprégnés, de découpage des tissus techniques, d'empilement de l'ensemble des tissus, de mise en place de la bache à vide, le temps de cycle de cuisson et le temps de démoulage. Une préparation des produits de base pour une expérimentation est donc nécessaire pour le e-learning.

2.2 Objectif de la fabrication par voie sèche

L'objectif principal de la fabrication des matériaux composites est d'associer fibres et matrice en limitant

au maximum les porosités résiduelles et en garantissant un taux massique ou volumique de fibres. Dans le cas de la voie sèche le taux volumique ou massique de fibres ainsi la quantité volumique de porosités résiduelles sont obtenu en choisissant un empilement de tissus techniques adapté et en utilisant un cycle thermique/temps voir pression/temps pertinent. La qualité finale de la pièce est aussi étroitement liée à certaines règles métiers, généralement associées à la mise sous bâche de l'ensemble pré-imprégnés et tissus techniques.

3 E-learning synchrone

Il existe différentes formes de e-learning (figure2), l'étude de l'industrialisation doit avoir lieu sur le site de fabrication et doit permettre de faire interagir les acteurs de la formation. Afin de garantir l'aspect synchrone et une approche inductive pour la compréhension des choix de fabrication, il est nécessaire de réaliser des taches de fabrication en mode asynchrone. Le matériel nécessaire à ce type de séquence est composé d'un moyen de visioconférence sur chaque site plus une caméra sur le site de fabrication, ce dispositif peut être complété par des connections individuelles via des outils de web-conférences.

	(A) Apprentissage autonome <i>Computer-Based Instruction/ Learning / Training (CBI/L/T)</i>	(B) Apprentissage collaboratif / Apprentissage coopératif <i>Computer-Mediated Communication(CMC)</i>
(1) Apprentissage en ligne Communication synchrone en temps réel	Surf sur Internet, accès à des sites contenant des informations utiles pour une formation (connaissances ou expériences) en ligne (exerciceur web)	Chat rooms avec ou sans vidéo (IRC; tableau blanc, WEB TV), Audio/vidéoconférence (streaming audio et vidéo)
(2) Apprentissage hors ligne Communication asynchrone	Téléchargement d'objet pour une utilisation locale <i>LOD (Learning Object Download)</i>	Communication asynchrone par courriel, liste de discussion ou forum via des plates-formes

FIG. 2 – Les différentes formes de e-learning [2].

3.1 Scénario d'apprentissage

Les objectifs de la formation sont : de connaître le processus de fabrication par voie sèche, d'identifier les différents tissus techniques utilisés, de connaître les fonctions associées aux tissus techniques, de comprendre le processus aboutissant à l'obtention du taux volumique ou massique recherché. La séance est découpée en quatre parties pour une durée totale de trois heures, les quatre phases sont :

- a) Présentation des moyens techniques, des consommables et du pré-imprégné :
 - Explication du processus d'obtention du taux volumique ou massique de renfort sur la pièce fabriquée,
 - Présentation du demi-produit (tissé équilibré de fibres de carbone et matrice époxyde),
 - Présentation des tissus techniques et échanges avec les étudiants sur la définition des fonctions de chaque tissu.
- b) Recherche de configuration d'empilements de pré-imprégnés et de tissus techniques, présentation d'une fabrication d'un échantillon :
 - Identification par groupe d'étudiants de plusieurs configurations d'empilement de tissus techniques,
 - Mise en œuvre des empilements proposés et cuisson par lampe infrarouge, visualisation en temps réel de la migration dans les tissus techniques de la matrice.
- c) Conclusion sur les fonctions des tissus techniques et calcul de taux volumique et massique

- Définition de l'empilement de tissus techniques optimal,
- Quantification du taux massique et volumique pour un échantillon.

d) Conclusion générale et présentation d'application en industrie de la fabrication par voie sèche.

Chaque phase est un temps d'échanges entre le formateur et les étudiants. L'organisation a pour but de favoriser la compréhension à partir de manipulations, d'expérimentations ou d'études de pièces fabriquées au préalable.

3.1.1 Présentation des moyens techniques

La première phase a pour but de présenter le processus de fabrication par voie sèche en détaillant en partie les phénomènes physiques associés. Les différents produits nécessaires à la fabrication sont présentés en montrant la spécificité des pré-imprégnés. Une démonstration de découpage de pré-imprégné est faite afin de mesurer les contraintes de cette technologie. Les tissus techniques sont présentés et découpés en direct au format nécessaire à la fabrication d'un échantillon. Pour chaque tissu technique une discussion basée sur l'aspect et les fonctions probables est lancée.

3.1.2 Configuration d'empilement et fabrication d'un échantillon

Cette étape nécessite que les étudiants aient pu échanger sur les propriétés de chaque tissu technique. Le but de cette partie est double : permettre aux étudiants par groupe de proposer une séquence d'empilement de tissus techniques, fabriquer en direct un échantillon intégrant les différentes séquences d'empilement. Les différents empilements seront organisés par zone sur l'échantillon (figure 3). La fabrication de l'échantillon met en évidence les règles métiers qui garantissent la mise en place d'une bache à vide. Afin de visualiser en temps réel l'évolution de l'absorption de la matrice par les tissus techniques, le chauffage de l'échantillon est effectué par une lampe infrarouge (figure 4) piloté par une valise Aeroform AHB380D V2 [3], la température de chauffe pour cet essai est de 90°C avec une montée en température de 3°C/mn. Une caméra complémentaire au système de visioconférence réalise la captation de l'échauffement de l'échantillon. Des échanges avec les étudiants seront animés par l'enseignant au fur et à mesure de l'apparition de l'absorption de la résine.

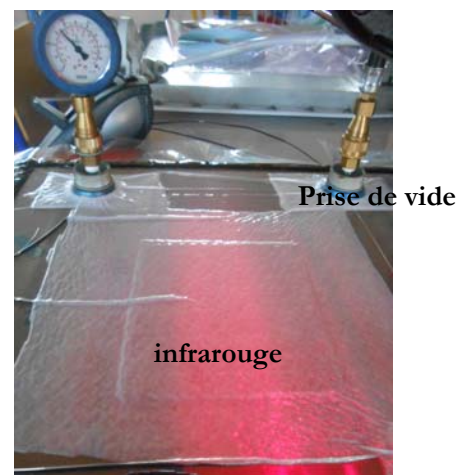
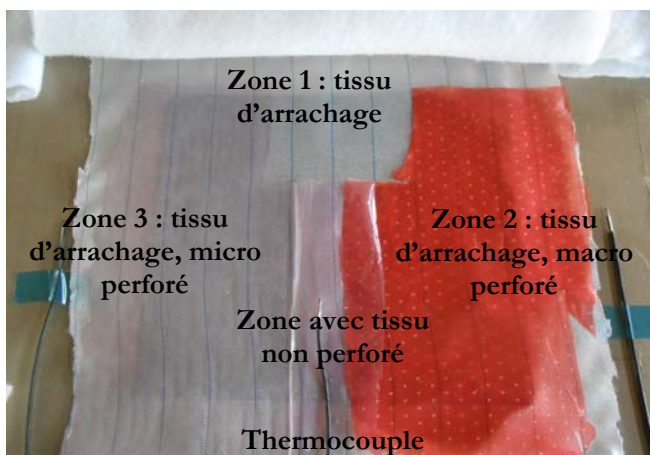


FIG. 3 – Description de l'organisation d'un exemple de zones d'empilement des séquences de tissus techniques sur l'échantillon.

FIG. 4 – Description du montage permettant la cuisson de l'échantillon.

3.1.3 Conclusion et quantification taux massique et volumique

La cuisson par infrarouge de l'échantillon permet d'identifier les fonctions de chaque tissu technique en visualisant l'absorption de la matrice. Une séquence d'empilement de tissus techniques est définie comme étant optimale dans la diffusion des gaz et matrice au travers des différentes couches. Les explications sont basées sur le visuel associé à la fabrication en direct de l'échantillon.

La quantification du taux massique et volumique de fibres est une information importante pour ce type de fabrication. Etant donné qu'une partie de la matrice est absorbée par les tissus techniques, la pièce finale a un taux volumique et massique de matrice plus faible. Afin d'imager cette aspect de la fabrication une éprouvette fabriquée en différé (avant la séquence de e-learning) est utilisée. La méthode de quantification des taux est simulée afin de renforcer la compréhension. La quantification est basée sur une comparaison de masses : masse de l'empilement de pré imprégnés avant cuisson (cette masse est obtenue en retranchant la masse des séparateurs, mesurés après la phase de drapage des pré-imprégnés) et masse de l'empilement cuit (éprouvette) après cuisson. Les mesures de masse sont effectuées avec une balance de précision et la démarche de calcul du taux massique de résine est réalisée en direct par groupe d'étudiants. Une comparaison des résultats des groupes est faite et une correction avec explication est proposée.

3.1.4 Conclusion générale et application industrielle de la voie sèche

L'approche proposée a pour but de s'initier à la mise en œuvre à distance d'un des modes de fabrication les plus répandus dans l'industrie de la fabrication des structures en matériaux composites. La séquence d'enseignement est basée sur la présentation des produits utilisés, matières premières et consommables. Une démarche pédagogique inductive permet de comprendre le processus de fabrication du matériau composite ainsi que d'identifier une séquence optimale d'empilement de tissus techniques. Une rapide présentation de deux fabrications industrielles est réalisée, le but étant de transposer l'approche académique de l'industrialisation par voie sèche à la problématique industrielle. Les applications industrielles de la voie sèche sont multiples, certaines sont mises en œuvre avec un moule, un ensemble de tissus techniques et une bâche, d'autres sont réalisées avec moule et contre moule, sans utiliser de tissus techniques ; dans ce cas le taux volumique, massique de fibres ne changent pas entre le produit avant et après cuisson. Un carénage aéronautique et un cadre de vélo de course sont présentés afin de compléter la partie industrielle.

Le e-learning est clôturé par la présentation d'un ensemble de mots clés à retenir ainsi que par une phase de questions-réponses.

4 Conclusion

Le e-learning synchrone est adapté à l'apprentissage de l'industrialisation des structures en matériaux composites. La séquence de formation proposée permet de mutualiser des moyens techniques lourds pour des formations distantes. Ce processus garantit une formation de qualité basée sur la compréhension des phénomènes physiques par l'expérimentation et les interactions entre formateur et étudiants. Le matériel nécessaire au e-learning synchrone est différent en fonction des sites, sur le site où se trouve le formateur un moyen de visioconférence, une caméra et un moyen de mixage audiovisuel sont nécessaires ; sur le site où se trouvent les étudiants un moyen de visioconférence est seulement nécessaire. Il est possible que des étudiants isolés se joignent à la séquence d'enseignement, dans ce cas un ordinateur avec une Webcam peut être utilisé, cette solution ne permet pas de garantir une qualité optimale de transmission des données audiovisuelles. La séquence pédagogique proposée peut se décliner sur d'autres moyens de fabrication des structures en matériaux composites, quelque soit le procédé utilisé le scénario d'apprentissage doit intégrer une phase expérimentale réalisée en direct et des étapes d'échanges sous forme de questions réponses.

References

- [1] Hexcel. Product data : HexPly® M10.1 120°C curing epoxy matrix. Hexcel.
- [2] Romiszowski A. The future of E.learning as an educational innovation Factors influencing project

success and failure . Brazilian Review of Open and Distance Education - Teorias Aspectos Teóricos e Filosóficos). 2003.

[3] Description technique valise Aeroform. Hot-Bonder AHB380d V2. www.aeroform-france.fr