



**MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE, DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA  
FORMATION DES CADRES ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**DEPARTEMENT DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR,  
DE LA FORMATION DES CADRES ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**CENTRE NATIONAL POUR LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE**

## **PROGRAMME D'ACQUISITION D'EQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES AU PROFIT DES PÔLES DE COMPETENCES**

**Appel à propositions de projets de recherche au titre de 2009**

**DOC.1**

**FORMULAIRE DE DESCRIPTION ET DE PRESENTATION DES PROJETS**

**Projet IV :**  
*Réalisation d'une plate forme intégrée pour la conception,  
la simulation et la mise en œuvre des procédés type LCM*

**Février 2009**

**PROGRAMME D'ACQUISITION D'EQUIPEMENTS SCIENTIFIQUES  
AU PROFIT DES PÔLES DE COMPETENCES**

**I. IDENTIFICATION**

N° :

Thématique générale du pôle : **MODELISATION, EXPERIMENTATION, CARACTERISATION ET CALCUL EN MECANIQUE**

Sous thématiques : Conception, caractérisation et technologies de fabrication mécanique.

<i>Intitulé du projet</i> <i>Réalisation d'une plate forme intégrée pour la conception, la simulation et la mise en œuvre des procédés type LCM.</i>	<i>Durée du projet : 3ans</i>
---	-------------------------------

*Mots clés définissant le projet :*  
*Logiciel de simulation, remplissage de moule, mesure des paramètres de moulage, LCM, conception de moule.*

**I.1. COORDONNATEUR NATIONAL DU PROJET**

<i>Nom : OUAZZANI TOUHAMI</i>	<i>Prénom : Mohammed</i>
<i>Fonction : Enseignants Chercheur</i>	
<i>Grade : PES</i>	
<i>Laboratoire : Mécanique</i>	
<i>Département : Physique</i>	
<i>Etablissement : Faculté des sciences Ain Chock</i>	
<i>Adresse :B.P. 5366, Casablanca</i>	<i>Ville : Casablanca</i>
<i>Tél :06 63 09 66 74</i>	<i>Fax :0522230680</i>
	<i>E mail : m.t.ouazzani@fsac.ac.ma</i>

**I.2. LABORATOIRES/EQUIPES<sup>1</sup> IMPLIQUES DANS LE PROJET**

<b>Laboratoire/Equipe</b>	<b>Etablissement</b>	<b>Responsable</b>
<i>Equipe de Recherche Appliquée sur les Polymères</i>	<i>ENSEM, Casablanca</i>	<i>Pr. J. ECHAABI</i>
<i>Laboratoire de mécanique et des matériaux</i>	<i>Faculté des sciences, Rabat</i>	<i>Pr. M. O. BESALAH</i>

**II. VALIDATION DU PROJET**

<b>Signatures du Président de l'Université et du chef d'établissement abritant le point focal national du pôle</b>	
Le Président	Le Chef d'établissement
<b>Nom, Prénom et signature du Coordonnateur national du pôle</b>	

<sup>1</sup> Concernant les équipes, ne sont admises à participer au présent appel à projets que les équipes autorisées à être membres du pôle.

### III. PRESENTATION DU PROJET

#### III. 1. Description du projet

Le moulage des composites liquides et ses dérivés (RTM, VARTM, CRTM, RFI...) est un procédé à fort potentiel d'utilisation notamment dans les domaines aéronautiques, aérospatiales et de plus en plus dans le domaine automobile. Ces secteurs constituent maintenant des axes prioritaires de développement pour le Maroc et on assiste à un développement soutenu de ces secteurs par l'implantation de grandes sociétés comme Teuchos, Matra, Aircele, EADS et de plusieurs sociétés de soustraction. Le principe général du procédé est d'injecter la résine liquide sur un renfort sec préalablement disposé dans la cavité du moule. Les études dans ce domaine concernent les paramètres d'injection en particulier la pression et le débit d'injection (l'outillage nécessaire), Le cycle de production qui a une grande influence sur la rentabilité du procédé et donc son taux de pénétration industriel et enfin la qualité des pièces obtenues ce qui revient à optimiser les paramètres d'injection pour diminuer le taux de porosité et améliorer les performances mécaniques.

D'autres part, à cause des problèmes écologiques, ce procédé est appelé à terme à remplacer le moulage contact, le moulage par projection et le moulage au sac encore largement utilisés dans le monde et particulièrement au Maroc.

L'équipe de recherche appliquée sur les polymères travaille sur ce procédé depuis six années. Nous avons pu développer l'étude de ce procédé sur plusieurs plans, théorique, numérique et expérimental. Les différentes modélisations proposées ont permis d'élaborer des codes de calcul permettant l'étude des fronts d'écoulement et l'optimisation des paramètres de moulage. En même temps, nous avons pu mettre aux points des procédures expérimentales pour la mesure des pressions d'injection et des fronts d'écoulements. Bien que les moyens fussent très limités, ces études ont abouti à des résultats intéressants et ont été sanctionnées par une vingtaine de publications dans des journaux et des congrès internationaux. Il s'agit maintenant d'affiner les résultats obtenus, d'optimiser les codes de calcul réalisés et d'élaborer des procédures expérimentales de types industrielles permettant la réalisation de pièces réelles.

#### III.2. Objectifs

L'objectif principal est de poursuivre les études par rapport aux trois axes énumérés dans la section précédente. Pour y arriver, nous poursuivons les sous objectifs suivants :

Volet modélisation : Mettre au point de nouvelles conceptions de moule et comparer leurs résultats de simulation des fronts, des pressions et des temps de remplissage aux solutions classiques.

Volet expérimental : Nous avons réalisé un certain nombre de moule de différentes formes pour étudier différents paramètres de moulage. Notre objectif est d'instrumenter ces moules pour permettre la fabrication de pièces réelles. Cela consiste en l'acquisition d'une centrale hydraulique et des moyens de mesure telle que des capteurs de température et de pression.

Volet numérique : Les codes de calcul élaborés nécessitent un travail supplémentaire d'amélioration et la conception d'une interface permettant une utilisation plus conviviale et des modules pour supporter les logiciels de dessin et de traitement des résultats. L'objectif est de mettre au point des versions commerciales pouvant être utilisées par les industriels et les chercheurs de manière simple.

### **III.3. Méthodologie**

#### Mise au point des codes de calcul

Nous disposons maintenant de deux codes de calcul. Le premier concerne la simulation des paramètres de moulage et le deuxième le dimensionnement des matériaux composites. La méthode de travail repose sur les points suivants :

1. Amélioration et optimisation des codes de calcul à la fois d'un point de vue modélisation et du côté numérique.
2. Création d'interface interactive pour une utilisation simple et la création d'une version commerciale.
3. Création de module de connexion avec les logiciels de dessin et ceux de traitement des résultats.

#### Conception de moule ;

Un premier travail à faire concernera la proposition de nouvelles conceptions de moules permettant d'améliorer le temps du cycle, de diminuer le coût de l'outillage et de produire des pièces de meilleure qualité. Ensuite, le remplissage et les paramètres d'injection des moules obtenus seront simulés par les codes de calcul et comparés aux conceptions classiques.

#### Procédure expérimentale

Les moules développés serviront à fabriquer des pièces réelles sous différentes conditions de moulage. Ces moules seront équipés de capteurs de pression et de température pour la mesure des fronts d'écoulement et de la température. Aussi l'acquisition d'une centrale hydraulique pour l'injection de la résine est nécessaire. Cette centrale devra permettre l'injection à débit constant ou à pression constante afin de reproduire des conditions semblables à celles utilisées en milieu industriel.

### **III.4. Plan de travail et calendrier d'exécution**

Actuellement trois doctorants et quatre masters travaillent sur les différents thèmes développés plus haut. Sur les trois ans à venir le travail se déroulera de la façon suivante :

Un doctorant et un master travaillent sur le volet numérique et la réalisation des codes.

Un doctorant et un master travaillent pour innover sur la conception de moules et par la suite feront un travail de simulation pour valider les conceptions retenues.

Un doctorant et deux masters travaillent sur la conception et la réalisation des procédures expérimentales.

Quatre enseignants-chercheurs encadrent à temps plein ces chercheurs.

La durée de l'étude est de trois années, soit la durée normale d'étude d'un doctorant.

#### IV. REPARTITION DES TACHES

Le tableau ci-dessous est destiné à préciser les tâches et activités spécifiques desquelles sera chargé(e) chaque laboratoire/équipe<sup>2</sup> pour la réalisation du projet.

<b>Laboratoire/Equipe participant</b>	<b>Tâches et activités à réaliser par le laboratoire</b>
<i>Equipe de Recherche Appliquée sur les Polymères</i>	Simulation des moules et fabrication des pièces en matériaux composites
<i>Laboratoire de mécanique et des matériaux</i>	Essais et caractérisations mécaniques des échantillons composites

#### V. PARTENARIAT<sup>3</sup>

**ENSEM-Ecole de Polytechnique de Montréal :** Partenariat actif dans ce domaine de la recherche depuis 1998 date de la signature de la convention de coopération. Publications communes.

**ENSEM-Université du Havre :** partenariat actif dans ce domaine de la recherche depuis 2001. Deux à trois visites par an. Coencadrement de thèses et publications communes.

---

<sup>2</sup> Voir note de bas de page n°1 ci-dessus.

<sup>3</sup> Dans le cas où tous les projets ou une partie d'entre eux feront l'objet d'un partenariat, préciser la nature de ce partenariat (Partenaire, participation à tout le projet ou à une partie du projet, moyens humains, matériels et financiers).

## VI. IMPACT ET RETOMBÉES

### VI.1. Impacts et retombées scientifiques

Cette étude permettra de développer d'avantage l'expertise locale de cet important procédé de fabrication. D'abord au niveau de la simulation du remplissage des moules puisque la prédiction du front d'écoulement permet d'optimiser le positionnement des événements, des points d'injections et la connaissance de la pression permet de dimensionner le moule. La simulation numérique est une étape très importante pour des questions de coût. Il est à la fois difficile et excessivement cher d'optimiser la conception du moule par l'expérience uniquement. Par ailleurs, la modélisation du comportement mécanique et la simulation numérique des stratifiés permettront de mieux comprendre leur comportement à la rupture en particulier leur délaminage et donc d'optimiser le dimensionnement des structures en matériaux composites. La connaissance du comportement mécanique des composites doublée d'une expertise dans la technologie de fabrication des matériaux composites permettra d'explorer la relation processus de fabrication-propriétés macroscopiques. Les codes développés qui ont fait l'objet de plusieurs publications présentent un intérêt scientifique certain. De même que le travail prévu sur la conception technique des moules c'est à dire le choix des solutions techniques d'injection peut aboutir à des brevets industriels. Aussi, grâce aux publications réalisées à la fois dans les journaux et les congrès internationaux, nous avons pu tisser des liens étroits avec plusieurs équipes étrangères. Ce qui a assuré un rayonnement international pour notre école, notre université et enfin pour notre pays en plus de notre participation aux événements nationaux.

### VI.2. Impact socio-économique (contexte et valorisation attendue)<sup>4</sup>

L'impact socio économique peut être discuté sur plusieurs échelles. La première d'ordre économique est de répondre aux besoins de certaines industries qui se sont installés au Maroc. En effet, les méthodes étudiées dans ce projet possèdent un grand potentiel d'utilisation en particulier dans les domaines des transports aérien et terrestre. Le moulage par injection des composites permet alors d'obtenir des pièces de qualité qui restent cependant perfectible d'où l'intérêt de l'étude. La deuxième échelle est d'ordre technologique, le savoir faire dans ce domaine s'acquiert par l'expérience et il est jalousement gardé. Nous avons développé une expertise locale dans les différents volets de cette technique à savoir les volets de modélisation et surtout le volet de simulation numérique dont le secteur industriel a grandement besoin ainsi que le volet expérimental. Nous permettre de poursuivre cette étude, c'est nous permettre de capitaliser sur les résultats obtenus et par la suite de les mettre à la disposition des industries locales par l'organisation de journées et / ou de séminaires d'information et de formation. Le troisième niveau concerne le côté d'hygiène et sécuritaire. Actuellement, les procédés utilisés au Maroc présentent des dangers pour le personnel et aussi pour l'environnement. Le dégagement de styrène est nocif pour la santé et très difficile à éliminer. De même, que les déchets produits sont très difficile à éliminer. A terme, tous ces procédés sont appelés à être de moins en moins utilisés. Les procédés de moulage des composites liquides sont une alternative à la fois d'un point de vue technique et d'un point de vue environnemental.

<sup>4</sup> S'agissant de projets de recherche appliquée, leur valorisation réelle ou potentielle devrait être précisée (Utilisateur réel ou potentiel, secteur économique concerné, solution(s) apportée(s) par le projet, impact économique, etc.)

## VII. EQUIPEMENT DISPONIBLE ET SOURCES DE FINANCEMENT

### VII.1. Equipement disponible pour la réalisation du projet<sup>5</sup>

Les équipements disponibles pour aider à la réalisation du projet sont :

Une machine de traction d'une capacité de 50KN.

Un vérin pour l'injection de la glycérine (ne permettant pas l'utilisation des résines réactives)

Un ensemble de moule de différentes dimensions pour des essais 1D et 2D.

### VII.2. Moyens financiers disponibles pour la réalisation du projet<sup>6</sup>

Actuellement, nous ne disposons d'aucun financement pour la poursuite du présent projet.

### VI.2. Equipements demandés pour la réalisation du projet

(Remplir pour cela le formulaire Doc.3)

---

<sup>5</sup> Lister les équipements en précisant la nature de leur utilisation en rapport le projet.

<sup>6</sup> Dans le cas où une partie du financement des équipements demandés serait assurée en dehors du budget du Département, préciser la provenance de ce financement et dans quel cadre il est accordé au pôle.