

Délibération n°270625_53

Séance du Conseil d'administration du 27 juin 2025

Nombre de membres composant le conseil (effectif statutaire) : 28

Nombre de membres en exercice : 28

Membres présents : 13

Membres représentés : 4

Pour :

DÉCISION

AVIS

INFORMATION

Projet INTERREG VI-A FRANCE-SUISSE 2021-2027 THERAMAP

Vu la réglementation pour la soumission des programmes INTERREG VI FRANCE-SUISSE 2021-2027 ;

Vu le dépôt du projet THERAMAP.

Considérant que le projet THERAMAP correspond à une preuve de concept (TRL3) dont les résultats peuvent s'appliquer à plusieurs domaines en premier lieu à la réalisation de dispositifs médicaux comme des implants orthopédiques. Il propose de valider le procédé de fabrication additive de pièces dont la structure est à la fois composée d'une partie poreuse et d'une partie dense sur laquelle vient s'appliquer une couche céramique innovante épaisse, tenace et anti-usure par projection thermique. Les propriétés de surface du revêtement formé seront optimisées par des post traitements d'usinage et de polissage innovants.

L'approche de ce projet consiste à proposer une nouvelle technologie alliant les avantages de la céramique et du titane combinés en résolvant les problèmes liés à la rupture de la céramique et aux mauvaises propriétés de frottement mécaniques des alliages de titane type médical. Il s'agit de concevoir un revêtement céramique épais de 100 à 300 microns d'épaisseur à déposer sur une base structurée en Ti6Al4V de nouvelle génération imprimée par fabrication additive.

Considérant que le projet examinera en particulier 4 étapes clés :

1- Fabrication de supports incluant des structures lattices issues de la technologie de fabrication additive (FA) pour un meilleur comportement mécanique et un contrôle précis de la rugosité de surface pour optimiser l'accroche de la couche céramique ;

2- Etude et réalisation d'un dépôt épais d'un revêtement céramique par projection thermique répondant à l'ensemble des exigences sus mentionnées ;

3- Finalisation de l'état de surface de la couche céramique par post-traitement d'usinage et polissage pour obtenir des propriétés de surface adaptées aux besoins ;

4 –Evaluation de la résistance à l'usure et à la corrosion du revêtement final.

Considérant que le consortium du projet est composé par l'UTBM et l'entreprise J'YNOVE pour la France, et par Haute Ecole d'ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud et l'entreprise IBLEO pour la Suisse ; L'UTBM sera en charge de la gestion administrative du projet en tant que chef file France et mettra au point la couche céramique ainsi que l'ensemble des tests de validation notamment d'accroche et d'usure en tant que spécialiste dans le traitement de surface par projection thermique. L'UTBM interviendra plus particulièrement sur :

Le développement des couches céramiques par projection plasma avec :

- Conception d'une torche plasma adaptée à l'application des céramiques identifiées (optimisation de la longueur de la colonne plasma ainsi que de la géométrie de la "tuyère de la torche plasma" afin d'obtenir un flux plasma optimal pour la projection de céramique) ;
- Mise au point des paramètres de projection (plasma, caractérisation des fluctuation plasma courant/tension et cinématique, bilan énergétique) ;
- Contrôle des particules en vol (accuraspray, spraycam,...) et des températures des pièces (pyromètre, caméra thermique).

La caractérisation des revêtements sur les pièces FA avec :

- Caractérisations préliminaires des couches en termes de microstructure, porosité, microdureté, adhérence, composition chimique, cristallographie ;
- Bilan environnemental du cycle de projection : consommation énergétique, matière, rendement de projection ;
- Définition des critères de sélection des 2 revêtements optimisés issus des 2 matériaux pour les WP 5 et 6.

L'analyse des propriétés de surface des revêtements avec :

- Observations des microstructures de surface des revêtements après finition ;
- Mesure de la porosité et de distribution dimensionnelle des pores à la surface polie ;
- Mesures mécaniques de surface (microdureté, contraintes).

Considérant que le budget prévisionnel du projet et son plan de financement sont les suivants :

DEPENSES	Montant	RESSOURCES	Montant	%
Personnel (Charges comprises)	267 249,46	FEDER	381 939,44	80,0%
Permanents UTBM	147 249,46			
Contractuels recrutés spécifiquement pour le projet	120 000,00			
Frais externes	170 087,42	Autofinancement UTBM	95 484,86	20,0%
Frais de déplacements (forfait 15 % des frais de personnel)	40 087,42			
Frais extérieurs	100 000,00			
Equipements	30 000,00			
Frais de bureau et frais administratifs (15% des frais de personnel)	40 087,42			
Total des dépenses	477 424,30	Total des ressources	477 424,30	100%

Le Conseil d'administration

DECIDE

- D'approuver le projet INTERREG VI France-SUISSE 2021-2027 THERAMAP ainsi que son budget prévisionnel et son plan de financement.

Abstention(s) : 0

Votants : 17

Blanc(s) ou nul(s) en cas de vote à bulletin secret : 0

Suffrages exprimés : 17

Pour : 17

Contre : 0

La présente délibération est adoptée.



Fait à Sevenans,
Le Directeur
Ghislain MONTAVON

Projet Soumis à la validation du Conseil d'Administration

Nom du projet : INTERREG VI-A FRANCE-SUISSE 2021-2027 « THERAMAP »

Porteur : Marie-Pierre Planche

1 - RESUME

Le projet correspond à une preuve de concept (TRL3) dont les résultats peuvent s'appliquer à plusieurs domaines en premier lieu à la réalisation de dispositifs médicaux comme des implants orthopédiques. Il propose de valider le procédé de fabrication additive de pièces dont la structure est à la fois composée d'une partie poreuse et d'une partie dense sur laquelle vient s'appliquer une couche céramique innovante épaisse, tenace et anti-usure par projection thermique. Les propriétés de surface du revêtement formé seront optimisées par des post traitements d'usinage et de polissage innovants.

2- DATE DE REALISATION PREVUE

1^{er} janvier 2026 – 1^{er} janvier 2028 (durée de 24 mois)

3- OBJECTIFS DU PROJET

3.1- Objectif final

Il s'agit d'établir un processus complet jusqu'à l'évaluation de la faisabilité d'un transfert en production d'un composant (par exemple une pièce orthopédique implantable) associant la FA (du matériau Ti6Al4V), la projection thermique (de la céramique Al₂O₃-TiO₂ et Al₂O₃-ZrO₂-TiO₂) et la technique de finition de l'état de surface (par usinage de la céramique et ou par polissage) pour la réalisation d'un futur démonstrateur industriel. Le concept proposé permet théoriquement de réduire les coûts de production des pièces nécessitant des surfaces de glissement avec une durée de vie élevée comme les prothèses orthopédiques. En effet, la FA si elle est bien paramétrée, peut générer une géométrie parfaite avec d'un côté une surface de réception pour la céramique avec une rugosité maîtrisée et de l'autre une structure poreuse (lattice). Actuellement, ces pièces sont produites par différents procédés.

3.2- Partenariat

Les différents partenaires du projet qui développent des compétences et des connaissances de pointe, font preuve d'un esprit ouvert et d'une vision novatrice pour imaginer un nouveau procédé de fabrication de pièces.

3.2.1 Entités participantes

Chef de file français	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard - UTBM Personne contact : PLANCHE Marie-Pierre marie-pierre.planche@utbm.fr , 03 84 58 32 00 // 06 04 47 45 29	1.1 Coordination du projet 1.2 Valorisation du projet 4.1 Approvisionnement en poudre 4.2 Développement des couches céramiques par projection plasma 4.3 Caractérisation des revêtements sur les pièces FA 6.1 Analyse des propriétés de surface des revêtements 6.2 Caractérisations fonctionnelles des revêtements et comparaison à la référence CoCrMo
------------------------------	---	---

Partenaire 1 industriel français	Raison sociale : JY'NOVE - Statut juridique : SARL Personne contact: BALDUINI Jean-Yves balduini.jy@jy-nove.com, 0673662750	5.1 Usinage / polissage de surface des revêtements céramiques
Chef de file suisse	Ecole d'ingénieurs - HEIG-VD Personne contact : HUGON Sylvain sylvain.hugon@heig-vd.ch , 0041 78 634 11 13	1.1 Coordination du projet 1.2 Valorisation du projet 3.1 Approvisionnement en poudre 3.2 Fabrication des substrats par FA LPBF 3.3 Caractérisation des supports
Partenaire 1 industriel suisse	IBLEO Sàrl - Statut juridique de la structure : Sàrl Personne contact: SALITO Armando Téléphone : armando.salito@ibleo.ch , 0041 79 3643149	2.1 Etat de l'art 2.2 Définition des pièces et des matériaux des revêtements 6.3 Faisabilité de transfert sur une machine FA de production

3.2.2. Localisation des partenaires

Ce projet s'inscrit dans le cadre du développement industriel de la région territoriale Bourgogne Franche-Comté (France) et canton de Vaud (Suisse).

En ce qui concerne la région Bourgogne Franche Comté, le chef de file universitaire UTBM et l'entreprise JY'NOVE se situent dans un rayon de 20 km de distance proches tous les deux de la ville de Belfort. Cette proximité est favorable au maintien d'une dynamique de travail forte pour le passage pratique des échantillons à caractériser et à analyser en appui sur les échanges techniques les discussions scientifiques afférentes.

Dans le territoire du canton de Vaud, le projet a pour but le développement Med Tech en particulier le développement d'une nouvelle génération d'implants orthopédiques à la fois plus performants et moins coûteux. La région de Ste-croix est une région périphérique du canton de Vaud, l'installation de la société IBLEO au technopôle de Ste-Croix est stratégique pour la région car il s'agit d'une activité à haute valeur ajoutée dans le domaine combinant la fabrication additive et des revêtements céramiques pour en particulier pour les dispositifs médicaux. Le territoire dispose de compétences dans la mécanique de précision et l'impression 3D et la finition du titane par la présence de AddiPole-Comatec.

3.2.3. Complémentarité des partenaires

Le chef de file Français UTBM (Equipe ICB PMDM) spécialiste dans le traitement de surfaces par projection thermique, mettra au point la couche céramique et l'ensemble des tests de validation de la couche. La projection thermique est particulièrement adaptée pour répondre à ce cahier des charges. L'UTBM est spécialisée dans ce domaine de traitement de surfaces et dispose des outils de recherche pour développer le revêtement (outils de diagnostic notamment). Pour obtenir le revêtement le plus optimisé, il est nécessaire d'utiliser une torche de projection thermique nouvelle génération la plus adaptée au matériau choisi. Pour les céramiques, le procédé plasma est le plus adapté.

JY'NOVE le partenaire industriel français, spécialiste dans l'usinage de précision sur tous types de matériaux (plastiques techniques, superalliages, métaux, céramiques ...), mettra au point l'usinage et la gamme de polissage du revêtement céramique. Le partenaire JY'NOVE met à disposition son savoir-faire d'usinage/polissage pour développer un protocole de finition de la couche céramique. UTBM et HEIG-VD apportent aux partenaires industriels des compétences de recherche pures qu'ils pourront par la suite valoriser au niveau international.

Le chef de file Suisse HEIG-VD au travers de COMATEC-Addipole, spécialiste de l'impression 3D métal, mettra au point le process d'impression du support Ti6Al4V en LPBF. La fabrication additive FA est donc apportée par le partenaire HEIG-VD avec la possibilité d'imprimer le matériau Ti6Al4V selon des designs spécifiques. Du fait de ses mauvaises propriétés tribologiques, et afin d'avoir une longue durée de vie du composant anti-usure, il est nécessaire de fonctionnaliser la surface de la pièce avec un revêtement épais performant, et notamment céramique, matériau investigué dans ce projet.

IBLEO Sarl le partenaire industriel suisse, spécialiste des revêtements plasma, mettra en œuvre le procédé industriel de dépôt de la couche céramique grâce à la conception d'une nouvelle torche plasma adaptée au matériau céramique. Le partenaire IBLEO développe des torches plasma modulaires dont la géométrie et les propriétés plasma peuvent être adaptées pour obtenir les revêtements les plus compétitifs en termes de performances (propriétés mécaniques, chimiques), coût (rendement de projection, consommables) et impact environnemental (rendement énergétique, matière). Enfin, pour toute application tribologique, l'état de surface des contacts doit être bien spécifique en termes de rugosité, porosité et mouillabilité. A l'issue de sa fabrication par projection thermique, le revêtement céramique est rugueux.

Grâce à la proximité des différents partenaires et des liens déjà existants entre eux, le projet a bien été pensé et défini en commun. La collaboration envisagée au travers des réunions de montage du dossier THERAMAP repose sur les besoins complémentaires de l'industrie et des laboratoires de recherche. Il a été prévu que les expérimentations soient programmées pour que l'ensemble des partenaires assistent aux différentes étapes d'élaboration des pièces et participent à leurs caractérisations.

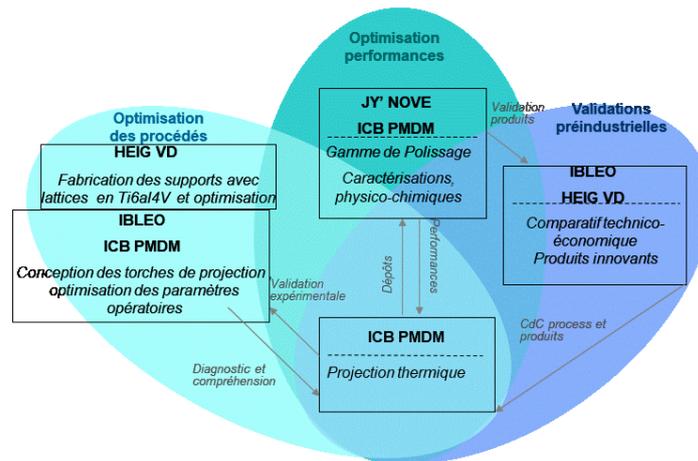
Chaque partenaire aura des résultats spécifiques uniques dans son domaine qui lui permettra d'élargir le niveau de ses compétences. De plus, chacun dans son domaine apportera son savoir-faire et ses connaissances dans les Workpackages spécifiques aux contours et responsabilités clairement définis suivant le diagramme de Gantt donné ci-dessous.

WP	Opérations	Acteur	Mois		Année 1												Année 2											
			début	fin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Coordination du projet	1 <i>Coordination, valorisation</i>	HEIG-VD	1	24																								
Etat de l'art	2 <i>Etat de l'art</i>	HEIG-VD	1	2																								
	<i>Définition de la composition chimique des 2 matériaux céramiques</i>	IBLEO	1	2																								
Réalisation de substrats Ti6Al4V par FA	<i>Approvisionnement en poudre</i>	HEIG-VD	1	3																								
	<i>Fabrication des substrats par FA LPBF</i>	HEIG-VD	3	12																								
	<i>Caractérisations des pièces</i>	HEIG-VD	3	12																								
Go/No Go : réalisation d'un support par FA aux bonnes propriétés mécaniques																												
Projection thermique des revêtements céramiques épais	4.1 <i>Approvisionnement en poudre</i>	IBLEO	3	5																								
	4.2 <i>Développement des couches céramiques par projection plasma</i>	IBLEO	3	18																								
	4.3 <i>Caractérisation des revêtements sur les pièces FA</i>	IBLEO	3	18																								
Usinage / polissage de surface des revêtements céramiques	<i>Caractérisation et paramétrage des différentes étapes et procédés de finition</i>	JY NOVE	10	18																								
	<i>Conception d'outillages de tenue de pièces</i>																											
	<i>Développement d'un concept de nettoyage</i>																											
	<i>Caractérisation préliminaire des surfaces</i>																											
Caractérisation tribologique et corrosive des revêtements pour application médicale	6.1 <i>Analyse des propriétés de surface des revêtements</i>	IBLEO	19	24																								
	6.2 <i>Caractérisations fonctionnelles des revêtements et comparaison à la référence CoCr</i>	IBLEO	19	24																								
	6.3 <i>Faisabilité de transfert sur une machine FA de production</i>	IBLEO	19	24																								

STRUCTURATION DU PROJET

Pour atteindre les objectifs du projet, le consortium suivant a été constitué. Il associe les compétences scientifiques, techniques et économiques de 2 laboratoires universitaires (ICB PMDM et HEIG VD) pour la partie projection / caractérisation des dépôts et Fabrication additive et de deux industriels capables de concevoir la torche de projection à

utiliser (IBLEO) et de travailler l'état de surface des dépôts pour atteindre les objectifs d'une rugosité de surface inférieure à $0.1\mu\text{m}$ (JY' NOVE). La complémentarité des équipes pour mener à bien ce projet et sa cohérence en matière de compétences sont illustrées sur la figure ci-dessous.



Le programme scientifique envisagé pour ce projet s'organise en plusieurs WP. Tous ces WP seront accompagnés d'une phase de valorisation par la rédaction de rapports ainsi que par la présentation des résultats aux partenaires.

PROGRAMME SCIENTIFIQUE

1- CONTEXTE DU PROJET

L'approche de ce projet consiste à proposer une nouvelle technologie alliant les avantages de la céramique et du titane combinés en résolvant les problèmes liés à la rupture de la céramique et aux mauvaises propriétés de frottement mécaniques des alliages de titane type médical.

Il s'agit de concevoir un revêtement céramique épais de 100 à 300 microns d'épaisseur à déposer sur une base structurée en Ti6Al4V de nouvelle génération imprimée par fabrication additive.

La présence d'un support en titane limite très fortement les risques de rupture de la céramique. Le revêtement quant à lui supprime le problème lié aux propriétés abrasives du Ti6Al4V, cela permet de créer de nouvelles surfaces de contact à hautes performances pour l'industrie médicale, automobile et spatiale. Le marché des couples de frottements articulaires pour l'orthopédie est visé en premier lieu. Actuellement, des procédés identiques sont étudiés par les grands acteurs du marché orthopédique comme Smith and Nephew avec l'Oxinium dont l'épaisseur est 10 à 20 fois inférieure à celle envisagée dans ce projet. Leur proposition est un revêtement en couche mince posant quelques soucis car quand il s'use, il laisse place rapidement au support métallique engendrant sa détérioration.

Notre proposition est de réaliser une couche plus épaisse et plus résistante à l'usure, limitant tout risque de détérioration à long terme selon les applications (médicales) visées.

Les principaux défis du projet concernent d'une part le dépôt et l'adhésion d'une couche épaisse céramique de 100 à 300 microns sans déformer la structure support d'accueil en Ti6Al4V et d'autre part l'usinage et le polissage de la couche céramique afin d'obtenir la fonctionnalité désirée sans trop altérer les propriétés mécaniques du composant.

2 - DEMARCHE DU PROJET

Le projet THERAMAP permet une forte valeur ajoutée technique dans la réalisation de pièces complexes avec fonctionnalisation multiple des surfaces en particulier des surfaces anti-usure dans le domaine médical (prothèse de genou, de hanche, d'épaule, etc.). La maîtrise de la finition de l'état de surface est loin d'être trivial.

La première technologie employée est l'impression 3D métal de type Laser Power Bed Fusion (LPBF) pour créer le support en Ti6Al4V, dont les paramètres permettent un contrôle précis de la porosité et des états de surface.

Dans le cadre du marché des dispositifs médicaux implantables visé par le consortium, il faut créer plusieurs états de la matière nécessaires pour pouvoir ensuite prétendre à proposer une solution implantable en orthopédie. L'impression LPBF offre la possibilité d'optimiser :

- 1) la structure interne du support Ti6Al4V pour un meilleur comportement mécanique à la fatigue
- 2) une première face adaptée à l'ostéo-intégration venant face à l'os du patient au moyen d'une structure lattice contrôlée
- 3) la seconde surface qui est celle fonctionnelle assurant le frottement doit permettre une accroche optimum de la céramique.

Le potentiel adaptatif concernant les propriétés mécaniques mais aussi de formes est important selon les différentes applications. Un exemple concret d'adaptation : dans le cas de l'industrie médicale qui est visée à moyens termes, les prothèses sont actuellement fabriquées sur des bases de fonderie qui sont terminées par usinage et dépôts divers. Ce sont donc des produits standards. L'utilisation d'un procédé FA permet de réaliser des pièces sur mesure à partir d'un fichier CAO généré par les données radiologiques et scanner du patient. La prothèse est alors totalement adaptée à l'anatomie et à la pathologie de ce dernier. Cette personnalisation est aussi très recherchée en robotique, aéronautique ou dans le domaine spatial. Le projet propose d'imprimer tout d'abord des échantillons « tests » avec des paramètres issus de la recherche en laboratoire puis de les recouvrir de céramique. En fin de projet un transfert vers une machine d'impression plus orientée production industrielle sera testée chez un partenaire afin de bien mesurer le chemin restant à parcourir pour arriver au produit définitif. Ces échantillons de phase avancés seront aussi recouverts de céramique épaisse et le résultat sera évalué selon les différents tests mis au point au cours du projet.

La deuxième technologie utilisée est le procédé de projection thermique qui permet d'obtenir un revêtement épais de 100 à 300 microns. Depuis plusieurs années, des revêtements minces de 1 à 10 microns en céramique du type ZrN, CrN et TiN sont développés et sont déposés par PVD (Plasma Vacuum Deposition). Les propriétés de résistance à l'usure du Ti6Al4V étant limitées, il faut éviter qu'après usure le frottement se fasse sur ce matériau après disparition de la couche céramique. Le choix d'un matériau céramique résistant à l'usure de base Al₂O₃, TiO₂ et ZrO₂, semble donc judicieux.

Le fait d'utiliser des couches céramiques épaisses est une innovation importante. Une forte épaisseur de la céramique sur la pièce en Ti6Al4V le rendra beaucoup moins sensible à la disparition de ce revêtement pouvant survenir par usure pendant l'utilisation de la pièce. Cela ne devrait pas se produire avec des couches en céramique épaisse (>100 microns) qui impliquera une forte augmentation de la durée de vie du composant. Afin d'homogénéiser la microstructure du revêtement et diminuer ses coûts de production ainsi que l'impact environnemental énergétique, une torche plasma segmentée à cascades, développée par la société IBLEO, sera utilisée. Comparée aux torches plasma conventionnelles, elle consomme moins d'énergie (moindre intensité de courant et de gaz plasmagènes secondaires). Elle est également plus robuste car elle facilite la réalisation d'un revêtement homogène minimisant les défauts de la couche. Le projet sélectionnera 2 matériaux céramiques de base alumine Al₂O₃-TiO₂ et Al₂O₃-ZrO₂-TiO₂. Pour réaliser ce type de revêtement, un des procédés de projection le plus utilisé est la projection plasma (APS). Ce procédé permet de revêtir des géométries complexes et il est peu limité en termes de taille de surface des pièces à revêtir.

La troisième technologie mise en œuvre pour finaliser l'état de surface du revêtement céramique est le développement de l'usinage/polissage adapté à cette nature de matériau. Pour minimiser l'usure dans tous les contacts tribologiques lubrifiés, il convient d'utiliser des surfaces les plus lisses possibles pour empêcher toute érosion abrasive. Les revêtements obtenus par projection thermique possèdent une certaine rugosité de surface inhérente au procédé utilisé à savoir la projection de particules. Celle-ci est de l'ordre de 3 à 15 µm en fonction de la rugosité initiale de la pièce et de la taille des particules. Ainsi pour une utilisation d'un revêtement céramique dans un contact avec frottement, il convient de diminuer cette rugosité de surface au minimum.

3 – ETAPES CLE DU PROJET ET OBJECTIFS DETAILLES

Les 4 étapes clés de ce projet sont :

- 1- Fabrication de supports incluant des structures lattices issues de la technologie de fabrication additive (FA) pour un meilleur comportement mécanique et un contrôle précis de la rugosité de surface pour optimiser l'accroche de la couche céramique.
- 2- Etude et réalisation d'un dépôt épais d'un revêtement céramique par projection thermique répondant à l'ensemble des exigences sus mentionnées.
- 3- Finalisation de l'état de surface de la couche céramique par post-traitement d'usinage et polissage pour obtenir des propriétés de surface adaptées aux besoins.

4- Caractérisations finales fonctionnelles du revêtement en vue de l'application ciblée biomédicale.

Ces quatre étapes seront complétées en fin de projet par un pré-transfert sur une machine d'impression 3D industrielle. Cette synergie est nécessaire pour pouvoir rester compétitifs face aux acteurs mondialisés du secteur, en développant des marchés de niches et de hautes qualifications.

Etape 1 : Fabrication des supports avec lattices en Ti₆Al₄V (développement d'un démonstrateur en environnement réel, TRL7)

Le procédé de FA qui a été sélectionné est la fabrication par fusion laser sur lit de poudre (LPBF - Laser Power Bed Fusion). Il est au stade industriel validé pour la fabrication d'applications au stade produits. Il permet l'impression de matière métallique.

Pour cette étape, il s'agit de :

- Choisir et caractériser la matière et le fournisseur.
- Définir les paramètres d'impression et analyser les effets de « back-side » car les pièces attendues sont double-face en termes de fonctionnalités.
- Evaluer les traitements thermiques post-impression.
- Choisir et caractériser les structures lattices internes selon les propriétés mécaniques attendues.
- Définir l'état de surface attendu pour une meilleure accroche du revêtement céramique.
- Définir et évaluer les caractéristiques mécaniques et de fatigue, ainsi que la microstructure du matériau.
- Evaluer un transfert des paramètres laboratoire sur une machine de production chez un fournisseur de machine potentielles qui sera déterminé.

Etape 2 : Etude et réalisation d'un dépôt épais d'un revêtement céramique (aucun développement de process mais un développement paramétrique du composant TRL4)

Après une recherche d'optimisation de paramètres de projection pour la fabrication du dépôt épais adéquat, l'objectif final de cette phase est de caractériser les revêtements mis au point en termes de composition chimique, propriétés mécaniques. Cette phase comprendra :

- l'étude des caractéristiques du matériau (analyse de la granulométrie des particules céramiques (micrométrique, sub-micrométrique) et de sa microstructure (dense, agglomérée).
- l'optimisation des revêtements qui passera par l'étude paramétrique des procédés pour modifier leur microstructure et composition. Pour cela, la conception de la torche, les débits des gaz, la puissance du jet énergétique, la cinématique de projection seront variés et étudiés en liaison avec des mesures in situ sur les jets de poudre et de la pièce (mesures de vitesse, température, trajectoire, rendement, ...).
- le contrôle et diagnostic en ligne du processus de réalisation du revêtement en temps réel.
- la caractérisation mécanique de la couche en termes d'adhésion, de résistance au cisaillement et à la fatigue.
- la composition chimique : phases en présence et leurs distributions.

Etape 3 : Post-traitement de l'état de surface de la couche céramique (aucun développement de process mais un développement paramétrique du composant TRL4)

Il s'agit d'obtenir des propriétés de couches équivalentes ou supérieures au produit du marché (par exemple dans le domaine des implants orthopédique par rapport à la pièce de CoCrMo) en termes de conditions de frottement et validées par les tests d'usure. Les objectifs poursuivis sont :

- Définir la rugosité après usinage et polissage adéquats par comparaison avec les produits du marché.
- Définir les protocoles de polissage et les paramètres permettant d'obtenir le résultat attendu.
- Définir les techniques de nettoyage afin d'avoir des surfaces tribologiques sans résidus.
- Caractériser l'état de surface poli du revêtement
- Caractériser la mouillabilité du revêtement

Etape 4 : Résistance à l'usure et à la corrosion du revêtement final

Il s'agit de :

- Caractériser les propriétés d'usure du revêtement face aux matériau polyéthylène (ce matériau est typiquement utilisé pour applications anti-usure contre un matériau dur pour les applications médicales orthopédiques). Les tests d'usure de référence seront conduits selon la méthode de PIN on Disc selon la norme ASTM F732-17 actualisée.
- Caractériser la résistance à la corrosion du revêtement selon un standard à définir.

➤ **Budget prévisionnel UTBM**

DEPENSES	Montant	RESSOURCES	Montant	%
Personnel (Charges comprises)	267 249,46	FEDER	381 939,44	80,0%
Permanents UTBM	147 249,46			
Contractuels recrutés spécifiquement pour le projet	120 000,00			
Frais externes	170 087,42	Autofinancement UTBM	95 484,86	20,0%
Frais de déplacements (forfait 15 % des frais de personnel)	40 087,42			
Frais extérieurs	100 000,00			
Equipements	30 000,00			
Frais de bureau et frais administratifs (15% des frais de personnel)	40 087,42			
Total des dépenses	477 424,30	Total des ressources	477 424,30	100%