

# DÉLIBÉRATION n° CA-12-06-2020-04 DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Séance du 12 juin 2020



Examen de demandes de financement CPER FEDER

## Le Conseil d'administration

- Vu le Code de l'éducation ;
- Vu les Statuts de l'Université de Poitiers ;
- Vu les délibérations n° 20200520-2 et n° 20200520-3 adoptées par la Commission de la Recherche en date du 20 mai 2020 portant avis favorable à l'unanimité aux projets présentés au titre de financement CPER FEDER ;
- Vu les documents adressés au Conseil d'administration ;
- Vu la proposition présentée en Conseil d'administration ;

Après en avoir délibéré,

**ADOPTE**

### Article 1<sup>er</sup> : CPER NUMERIC : « E-éducation 2 - Axe 1 Valorisation des contenus numériques »

L'opération et le plan de financement CPER FEDER, pour le programme « E-éducation 2 - Axe 1 Valorisation des contenus numériques », avant soumission au Comité régional de Programmation, sont approuvés, conformément aux pièces-jointes.

### Article 2 : CPER NUMERIC : « E-patrimoine 4.0 - Axe 1 Valorisation des contenus numériques »

L'opération et le plan de financement CPER FEDER, pour le programme « E-patrimoine 4.0 - Axe 1 Valorisation des contenus numériques », avant soumission au Comité régional de Programmation, sont approuvés, conformément à la pièce-jointe.

### Article 3 : Décompte des voix

La présente délibération est adoptée à l'unanimité.

Fait à Poitiers, le 12 juin 2020  
Le Président de l'Université de Poitiers

Yves JEAN



Transmis à Madame la Rectrice de la région académique Nouvelle-Aquitaine, Rectrice de l'Académie de Bordeaux, Chancelière des Universités, le 12 juin 2020

Entrée en vigueur le lendemain de sa publication au *Recueil des actes administratifs* de l'Université de Poitiers.

#### Voies et délais de recours

Si vous estimez que cet acte est irrégulier, vous pouvez former :

- soit un recours administratif, qui peut prendre la forme d'un recours gracieux, devant l'auteur de l'acte ou celle d'un recours hiérarchique devant l'autorité hiérarchique compétente. Ce recours administratif doit être présenté dans les deux mois à compter de la notification du présent acte si vous souhaitez pouvoir former un recours contentieux contre une décision de rejet de votre recours gracieux. Celui-ci est réputé rejeté si vous n'avez pas reçu de réponse dans les deux mois suivant sa réception par l'administration. Vous disposez alors de deux mois pour former un recours contentieux. Si une décision expresse vous est notifiée dans les quatre mois suivant la réception de votre recours gracieux par l'administration, vous disposerez alors d'un délai de deux mois, à compter de la notification de cette décision expresse, pour former un recours contentieux.
- soit un recours contentieux devant le tribunal administratif territorialement compétent, dans le délai de deux mois à compter de la notification ou de la publication du présent acte.

Depuis le 1<sup>er</sup> décembre 2018, vous pouvez également déposer votre recours juridictionnel sur l'application internet Télérecours citoyens, en suivant les instructions disponibles à l'adresse suivante : [www.telerecours.fr](#)  
Dans ce cas, vous n'avez pas à produire de copies de votre recours et vous êtes assurés d'un enregistrement immédiat, sans délai d'acheminement.

Vu le code de l'éducation,

Vu les statuts de l'université de Poitiers,

Vu les propositions du Président,

DATE DE LA CR	20/05/2020
---------------	------------

DELIBERATION CR N°	THEMATIQUE	OBJET	MESURE PROPOSEE A LA DELIBERATION	DEBUT D'APPLICATION DE LA MESURE	FIN DE LA MESURE	PRESENTS OU REPRESENTES	DELIBERATION CR	OBSERVATION
20200520-2	CPER FEDER	Demande de financement CPER FEDER	Approbation de l'opération et du plan de financement du projet du programme CPER NUMERIC "E-éducation 2 - Axe 1 Valorisation des contenus numériques"	20/05/2020		28	Favorable à l'unanimité	Avis avant transmission au CA
20200520-3	CPER FEDER	Demande de financement CPER FEDER	Approbation de l'opération et du plan de financement du projet du programme CPER NUMERIC "E-patrimoine 4.0 - Axe 1 Valorisation des contenus numériques"	20/05/2020		28	Favorable à l'unanimité	Avis avant transmission au CA

Fait à Poitiers, le 20 mai 2020  
Le président de séance

Thomas ROGAUME



**Réunion de la Commission Recherche**  
**Séance du 20 mai 2020**

**Dossier CPER FEDER pour approbation de l'opération et du plan de financement**

**E-éducation 2 – Axe 1 Valorisation des contenus numériques**

Porteur : Yannick BLANDIN

Période prévisionnelle d'exécution : Du 01/09/2020 au 31/07/2022

Description de l'opération :

Ce projet s'inscrit dans le développement du premier axe du Programme CPER NUMERIC et concerne le thème **E-Éducation / E-Formation**. Il s'appuie sur les capacités scientifiques d'équipes issues de différents champs scientifiques (SHS, STIC) à créer et déployer des outils logiciels et technologiques innovants permettant d'une part de mieux comprendre les processus liés aux apprentissages et, d'autre part de favoriser ces apprentissages.

Dans le cadre de ce projet, nous proposons de développer des outils d'analyse des comportements et de contribuer au développement de **plateformes logicielles et matérielles** pour faciliter les processus d'apprentissage. Les résultats de ces travaux seront accessibles aux équipes de recherche régionales, aux membres des institutions et professionnels intervenant pour ou autour des questions d'apprentissage.

Le **projet E-Éducation, E-Formation II** vise à développer l'utilisation des usages du numérique pour l'apprentissage dans des contextes divers : école, parascolaire, rééducation. Il repose notamment sur le développement et l'évaluation de nouveaux outils permettant un meilleur usage du numérique et un meilleur apprentissage des comportements étudiés. Ce programme implique des chercheurs et enseignants chercheurs de quatre laboratoires de l'Université de Poitiers : le CeRCA (UMR 7295), P' (UP 3346), Xlim (UMR 7252), Techné (EA 6316) ainsi que des partenaires institutionnels des académies de Poitiers, Limoges et Bordeaux, l'ESPE de Poitiers, Réseau CANOPÉ, le SPN, le CNAM et le CNED. Les programmes de recherche sont regroupés au sein de **quatre** actions comportant des objectifs communs. D'autres partenariats impliquent le CHU de Poitiers et différents centres de rééducation.

**L'action AppObs (Apprentissage par Observation)**

La première action vise à concevoir une ingénierie qui permet d'une part l'indexation et d'autre part l'extraction de données stockées sous formes de séquences vidéo numérisées. Ces vidéos sont utilisées pour des analyses cinématiques, de la modélisation 2D-3D, des indexations, de la restitution, afin de permettre à des chercheurs, enseignants, psychologues, entraîneurs, etc. de comprendre les processus cognitifs impliqués dans la perception des actions, leurs interprétations, la prise de décisions et, plus généralement, leurs apprentissages.

Elle se situe à l'interface entre les sciences de l'ingénieur (Institut P', Laboratoire XLIM) et la psychologie expérimentale (Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage). Les outils et savoirs faire développés lors du premier volet seront utilisés pour des analyses cinématiques, de la modélisation 2D-3D, des indexations, de la restitution, afin de permettre à des chercheurs, enseignants, psychologues, entraîneurs, etc.

de comprendre les processus cognitifs impliqués dans la perception des actions, leurs interprétations, la prise de décisions et, plus généralement, leurs apprentissages.

Le projet proposé permettra de lever plusieurs verrous scientifiques que ce soit en analyse du signal, en biomécanique du mouvement ou en psychologie expérimentale.

- 1) Concernant l'analyse du signal, le projet permettra d'améliorer de manière considérable les algorithmes de détection automatique de cibles dans une vidéo. En effet, si actuellement quelques outils permettent déjà de repérer le positionnement des articulations dans une vidéo représentant un mouvement global ou une expression faciale émotionnelle (Delib, OpenPose, etc.), le projet proposé permettra d'augmenter la finesse de l'analyse en ne s'arrêtant pas au simple repérage des articulations sur la vidéo mais bien en accédant à leurs coordonnées en 3D au cours du temps. Cette évolution augmentera donc la précision des algorithmes de détection automatique et permettra de recréer une séquence animée de points pouvant être modifiables avec le logiciel PLAViMoP développé au préalable (Decatoire et al. 2018).
- 2) Concernant la biomécanique, il s'agira de développer des algorithmes d'optimisation de la motricité à partir de la production réelle des participants à un instant déterminé afin de les amener progressivement d'une cinématique et d'une dynamique initiales (qui peut être pathologique ou comportant des défauts) à un mouvement final de référence. L'enjeu principal sera de déterminer quels sont les critères à optimiser et les contraintes à imposer/libérer pour formuler le problème d'optimisation et atteindre l'objectif de créer des mouvements progressivement corrigés.
- 3) Enfin, concernant la psychologie expérimentale, le projet proposé permettra de mieux étudier les mécanismes à l'œuvre dans la perception des mouvements humains pour optimiser la performance motrice ou la rééducation de troubles moteurs.

#### **L'action e-ProVoc (Profondeur du Vocabulaire)**

Elle vise à valider expérimentalement une application mobile permettant de stimuler l'apprentissage du vocabulaire chez l'enfant. En effet, la littérature scientifique a largement documenté le lien existant entre niveau de vocabulaire et réussite en lecture (e.g., Vellutino et al., 2007). Un meilleur niveau de vocabulaire faciliterait ainsi à la fois la capacité à identifier les mots écrits et à comprendre le langage (Perfetti, 1985). Ainsi, nombre d'enfants en difficultés de lecture présentent en fait un vocabulaire amoindri (Nation & Snowling, 1998).

Par ailleurs, deux aspects du vocabulaire ont été distingués (e.g., Ouellette, 2006) : l'étendue (i.e., la quantité de mots connus) et la profondeur (i.e., la richesse du lexique, le nombre de connaissances associées à chacun des mots connus). En distinguant ces deux aspects du vocabulaire, des travaux récents (e.g., Cain & Oakhill, 2014) ont montré que la profondeur du vocabulaire - plutôt que l'étendue - était liée la réussite en compréhension.

À partir de ces constats issus de la littérature et des premiers résultats obtenus, une application a déjà été développée (« ProVoc ») et vise spécifiquement à stimuler cet aspect de profondeur du vocabulaire. Il s'agira ici d'examiner l'impact d'un tel entraînement sur les performances en lecture et en compréhension des enfants sur un large panel d'enfant en situations écologiques. Les ressources numériques permettront de faciliter l'accès des enfants aux outils développés.

Cette action s'inscrit en lien avec d'autres projets portés par l'université de Poitiers sur le numérique éducatif (e.g., projet e-FRAN DysApp <http://dysapp.prd.fr>; projet ANR SELEN <http://anr-selen.univ-paris8.fr>). Il s'insère également dans les objectifs de l'académie de Poitiers sur ces questions du numérique, en lien avec des partenaires locaux comme Canopé.

#### **L'action Trema (Traitement du regard pour la mesure de l'attention)**

L'action (Trema) a pour objectif d'utiliser les nouveaux outils technologiques d'analyse et de suivi pour évaluer les méthodes d'apprentissage en milieu scolaire, universitaire ou en formation professionnelle. Ces outils technologiques sont principalement des outils de suivi du regard. Le suivi du regard permet d'analyser le champ visuel d'un utilisateur et la position de son regard au sein de ce champ visuel.

Pour cela nous proposons de réaliser une analyse complète de l'attention de l'utilisateur ou de l'apprenant pour différencier les phases d'attention soutenues des autres phases d'attention (attention légère et attention totalement relâchée). Nous envisageons ici de proposer à des panels d'apprenants d'utiliser des oculomètres dans différentes conditions d'expérimentation :

- Travail en classe « standard », cours magistral ou travaux dirigés
- Travail en classe « inversée », travaux pratiques et pédagogie en mode projet
- Travail sur informatique, travaux pratiques ou projets
- Visite de lieu d'exposition ou de travail et organisation de ce type de lieu.

L'action sera principalement proposée aux élèves des écoles, collèges et lycées du territoire, mais également aux étudiants au sein de l'Université de Poitiers afin de pouvoir comparer les résultats de différentes catégories (âge, milieu socio-économique, territoire urbain ou rural...) et ainsi établir une véritable cartographie de l'attention des apprenants lors de l'utilisation des outils numériques et informatiques. L'objectif de Trema est de déterminer des indices visuels fiables et précis de l'attention des utilisateurs dans le cadre de l'utilisation du numérique. Nous réaliserons tout d'abord, en concertation avec des enseignants, des professionnels, des chercheurs des différents laboratoires, un protocole de test reproductible et adapté à tout public (scolaire et non scolaire) utilisant deux types d'eye-trackers : l'un fixe et spécifique pour les écrans informatiques et le second sous forme de lunettes pour pouvoir évaluer l'attention des utilisateurs dans le cadre d'un cours sans utilisation de moyen informatique. L'étude devra tout d'abord déterminer les indices visuels de l'attention d'un utilisateur dans les différents scénarii afin de pouvoir les modéliser et d'extraire des mesures objectives de l'impact de l'utilisation du numérique dans l'enseignement scolaire. Dans un second temps, les mesures objectives réalisées seront intégrées à un outil d'analyse semi-automatisé permettant à un enseignant de connaître les phases d'attention et d'inattention des utilisateurs dans un contexte d'utilisation de l'outil informatique. Il pourra également être proposé une identification des tâches réalisées au sein du Serious Game par le biais de mesures psycho-visuelles.

Les collaborations au sein de Trema sont nombreuses puisque trois laboratoires de recherche de l'Université de Poitiers sont mobilisés, Xlim, CeRCA et Techné. La complémentarité de ces différents laboratoires sera un atout pour la réussite de l'action et pour la diffusion des résultats.

### **L'action IArt-Emo (Intelligence Artificielle et Émotions)**

L'intelligence artificielle (IA) a permis d'imiter les capacités de l'intelligence humaine, notamment la compréhension du langage, la vision et le raisonnement. Cependant, cette IA est restreinte car elle ne permet pas d'appréhender la complexité du raisonnement humain en intégrant de façon optimale la dimension émotionnelle (Moerland, Broekens, & Jonker, 2018). Dans ce contexte, un sous domaine de l'intelligence artificielle - très lié à la psychologie et aux sciences cognitives - baptisé *affective computing* ou *intelligence artificielle émotionnelle (IAE)* (Poria et al 2015) vise à détecter et modéliser les émotions humaines. C'est le cadre de ce projet multidisciplinaire, entre l'équipe **ICONES** de **XLIM** et le **CeRCA**, spécialiste de l'étude des comportements et de la cognition humaine.

Il s'agit donc de définir des algorithmes concernant l'impact émotionnel de données multimédia (Partie 1) et l'intégration de l'émotion dans les algorithmes (agent virtuels) pour la prise de décision (Partie 2).

#### **Partie 1 : Prédiction de l'impact émotionnel des données multimédia sur l'individu**

La plupart des travaux sur l'analyse affective de contenu multimédia existants reposent sur des approches directes qui consistent à calculer des descripteurs numériques sur le contenu et de les entraîner dans un réseau de neurones pour détecter l'émotion (Wang et al 2015). Cependant, ces approches manquent de concordance entre ces descripteurs très bas niveau (signal) et les interprétations humaines de haut niveau de l'émotion (phénomènes affectifs). Cela engendre ce qu'on appelle un *fossé sémantique* entre le niveau signal et le niveau sémantique de l'interprétation. Un des verrous scientifiques que nous envisageons de traiter tient à la

réduction de ce fossé en se basant sur les connaissances psychologiques sur le comportement humain pour la description de contenu affectif des données.

#### Partie 2 : intégration de l'émotion dans le processus de décision des algorithmes

Cette partie concerne l'intégration de l'information affective détectée dans le processus de raisonnement et de prise de décision d'un algorithme, ce qui permet d'établir une interaction affective entre un individu et une machine (logiciel). Cette partie sera développée dans les cadres des applications en relation avec l'action **Trema** du projet **e-Éducation** pour l'Édutainment en lien avec la **French Tech** et le réseau SPN, communauté qui réunit les 4 écosystèmes numériques et entrepreneuriaux de Angoulême, Niort, La Rochelle et Poitiers mais aussi au niveau néo-aquitain. Par exemple une des applications de ces travaux peut concerner la protection des enfants contre le contenu vidéo potentiellement dangereux (violence). On pourra aussi travailler sur la prédiction et la régularisation de l'impact émotionnel d'un cours sur les étudiants et donc sur leur attention et leur mémorisation. Par ailleurs, aujourd'hui on trouve de plus en plus des robots de compagnie et des agents virtuels qui sont capables de percevoir les informations émotionnelles exprimées par le partenaire humain, de les interpréter et d'y répondre (Cynthia et al 2013).

Une interaction avec le projet E-immersion permettra de tester les approches sur des robots humanoïdes (Nao et Pepper) du laboratoire **L3I** de la Rochelle.

Coût total : 334 130 euros HT

Montant de l'aide européenne sollicitée : 254 130 euros, soit 76,05 % du coût du projet

Autre financement public sollicité sur l'opération : 80 000 euros (CPER Région)

Financements privés : /

Autofinancement : /

Programme CPER : NUMERIC



**Réunion de la Commission Recherche**  
**Séance du 20 mai 2020**

**Dossier CPER FEDER pour approbation de l'opération et du plan de financement**

**E-patrimoine 4.0 – Axe 1 Valorisation des contenus numériques**

Porteur : Noël RICHARD

Période prévisionnelle d'exécution : Du 01/01/2020 au 31/12/2022

Description de l'opération :

✓ **Objectifs particuliers à atteindre**

**La décomposition en 3 objectifs particuliers à atteindre**

Le projet e-Patrimoine 4.0 développe des outils et services numériques pour des applications liées au Patrimoine, mais non réduites à ce domaine d'usage. Ce projet regroupe des chercheurs issus de différents laboratoires maths-STIC et des chercheurs des laboratoires SHS-SHA, ce qui induit une décomposition en niveaux TRL et en tâches. L'ensemble du projet se décompose en 3 objectifs principaux :

**01. Développer la métrologie des surfaces texturées ou non-uniformes.** Il n'existe actuellement aucune recommandation, ni standard sur ces questions, après 50 années de développement en traitement d'images. À la suite des thèses d'Audrey Ledoux (XLIM, 2013), d'Hilda Deborah (XLIM&NTNU-Norway 2016), d'Hermine Chatoux (XLIM, 2019) et de la thèse en cours de Chu Rui-Jian (XLIM & NTNU, fin prévue en déc. 2021), XLIM a réussi plusieurs percées scientifiques permettant d'adresser cette question et de construire les fondations des futures normes sur le sujet. Ce projet vise à fournir les premières propositions et conforter la visibilité internationale des partenaires du projet sur ces questions. Le projet permettra la tenue de cet objectif en construisant un système d'acquisition permettant de valider les mesures quels que soient les angles d'éclairage et d'acquisition, et de façon parallèle de relier les mesures effectuées aux décisions prises par un opérateur ou expert. Ces travaux seront au cœur du travail avec les comités techniques internationaux liés aux recommandations et standards.

**02. Développer la liaison entre les derniers résultats en intelligence-artificielle / apprentissage profond et la métrologie.** Que ce soit dans le domaine du Patrimoine, ou dans les contextes des industries culturelles et créatives, ou de l'Usine du Futur, l'acquisition de données/mesures est coûteuse et complexe. Face à cela, les approches « Data » requièrent des masses de données colossales pour pouvoir être fonctionnelles. Le second objectif du projet vise à résoudre cette limite en tirant profit de toutes les propriétés associées à une mesure (précision, biais, incertitude) dans des schémas d'apprentissage profond et d'I/A. L'enjeu est de faciliter l'exploitation de ces dernières technologies dans tous les domaines pour lesquels il n'est possible de disposer de centaines de milliers d'échantillons. La méthodologie de développement s'appuie principalement sur l'exploitation des outils et attributs développés dans la première phase du programme NUMERIC et sur les attributs texture qui seront développés pour l'objectif principal n°1. Une première preuve de concept a été développée dans la première phase du programme NUMERIC (CBMI 2019, Remote Sensing 2019). Cette première approche permis d'exploiter les réseaux neuronaux développés pour les images couleur. Dans ce projet, nous allons développer nos propres réseaux neuronaux afin de pouvoir prendre en compte toutes les propriétés associées à une mesure, qu'elle soit couleur, spectrale, texture ou autre. La validation et la mesure

des performances sera effectuée à partir de bases d'images aériennes et satellitaires utilisées pour les compétitions internationales (application agro-environnementales). La valorisation de ces travaux dans des contextes liés à l'agriculture est en cours de discussion.

**O3. Le développement d'outils de valorisation de corpus de données culturelles, éducatives et patrimoniales.** Le troisième objectif principal permet de préparer les applications de demain dans le domaine des industries créatives et culturelles, ainsi que dans le contexte du Numérique éducatif. Dans le contexte des corpus écrits et oral, nous adapterons les derniers développements en traitement du signal et des ondelettes aux contextes de l'apprentissage du geste de l'écriture et de l'oralisation de la langue anglaise. Nous terminerons le développement du logiciel d'indexation du Patrimoine Oral du Grand-Ouest pour permettre sa connexion avec le patrimoine francophone Nord-Américain. Enfin, nous préparerons les librairies logicielles de manipulation des éléments architecturaux identifiés lors de chantiers de fouille archéologique.

#### ***La décomposition en enjeux particuliers et tâches***

Pour permettre une gestion simple et efficace du projet, les objectifs principaux ont été décomposés en tâches. Les différentes tâches ont été organisées selon l'échelle TRL liées aux dimensions d'innovation, de validation, de démonstration et d'anticipation sur le devenir des résultats de ce projet. Quatre niveaux ont été retenus :

- ✓ ***Développer les innovations de rupture.*** Deux tâches répondent à cette ambition. Leurs enjeux sont l'écriture scientifique et le développement de nouveaux outils de mesure de l'aspect non-uniforme des surfaces (T1.1). Le second enjeu, auquel est attachée une tâche dédiée est associé au développement d'outils d'apprentissage profond dédiés à la métrologie (T2.1),
- ✓ ***Valider et démontrer les technologies produites*** en environnement réel et réaliser des preuves de concept. Trois tâches sont concernées. La première développera la validation des mesures de l'aspect texturé/non uniformes dans le cadre de la mesure de l'apparence des matériaux (T1.2). Cette question est le challenge mondial courant dans les domaines de l'Usine du Futur (lien Design – Production – Contrôle Qualité) et des ICC (rendu réaliste dans les applications multimédia, jeux, réalité virtuelle ...). La seconde porte sur l'enrichissement des mesures (T2.2). La problématique est celle de la combinaison de mesures issues de différents imageurs de résolution spatiales et spectrales différentes. La validation sera effectuée dans le cadre des images satellitaires sur des enjeux internationaux. La troisième tâche porte sur la finalisation et validation d'une librairie logicielle de modélisation procédural pour l'analyse des restes des fouilles archéologiques (T3.1).
- ✓ ***Préparer les applications de demain*** en intégrant les modèles et mesures produites pour concevoir des prototypes démontrant la plus-value des résultats. Deux tâches adressent ce niveau. La première permettra de créer un premier outil de reconstruction d'objets ou scènes basés physique (T1.3). L'objectif est de pouvoir produire un jumeau numérique d'une œuvre picturale murale ou non. Ce jumeau doit permettre par la suite de faire les mêmes mesures que celles qui pourraient être obtenues sur l'œuvre réelle. L'apport est de ne pas limiter le rendu aux seuls aspects perceptibles, mais à toutes les propriétés physiques obtenues par les différentes acquisitions. Les enjeux sont importants, en termes de valorisation des sites patrimoniaux pour lesquels à termes les œuvres sont en voie d'effacement/disparition (Saint-Savin par exemple), ou pour la valorisation des contenus non visibles (repentirs, sous-couches picturales accessibles dans l'infra-rouge typiquement). Ces travaux exploiteront les résultats de Lilian Aveneau établis dans le domaine des ondes radio et qui seront étendus ici à l'imagerie spectrale. La seconde tâche permettra la création de 2 applications exploitant les derniers résultats du laboratoire XLIM en matière d'analyse des signaux par des approches ondelettes et ridgelets (T3.2). L'objectif est d'intégrer ces technologies dans des applications de segmentation et d'analyse du geste de l'écriture manuscrite et dans des applications d'analyse de l'oralisation de la langue anglaise. Les deux applications ont des retombées directes pour le Numérique Éducatif.
- ✓ ***Assurer la pérennité des innovations produites.*** Chacun des objectifs principaux est concerné par ce niveau d'activité. La première tâche (T1.4) a pour objectif d'assurer le travail dans les comités techniques internationaux en charge de la recommandation et de la normalisation des outils de mesure (CEI, ISO). L'objectif de cette tâche est de faire en sorte qu'à court terme, la métrologie développée soit intégrée à une recommandation internationale, validant ainsi ce savoir-faire régional. La seconde tâche (T2.3) doit

permettre de faire valider au niveau international les nouveaux systèmes d'apprentissage profond basés sur la métrologie. Cette tâche s'appuiera sur des réponses à des compétitions/challenges internationaux sur le Pansharpening (enrichissement d'images). La troisième tâche a pour objectifs de terminer l'application Telemeta d'indexation et valorisation du Patrimoine oral Francophone du grand Ouest. Elle doit également relier notre Patrimoine régional au patrimoine francophone Nord-Américain, pour proposer des pistes de valorisation touristiques et culturelles.

### ***Métrologie spectrale et des surfaces non-uniformes***

*Lier métrologie objective et métrologie subjective*

**Résultat attendu** : *Un ensemble de paires attributs/distances liant mesures physiques et perception de l'aspect texturé/non-uniforme des surfaces.*

Après quatre années à développer des solutions de métrologie dans le domaine spectral, nous avons franchi un premier palier de rupture technologique. Le palier suivant induit de prouver en quoi et comment ces outils permettent d'outrepasser les outils actuels de contrôle qualité par vision, ou les protocoles de contrôle qualité assistés par l'observateur humain.

Cette action vise à développer des expérimentations psycho-physiques propre à comparer/valider les descripteurs produits pour l'analyse de l'aspect non-uniforme des surfaces avec les capacités du système visuel humain. Les résultats attendus doivent montrer que la métrologie spectrale permet d'atteindre au minimum les mêmes performances qu'un opérateur humain, tout en étant parfaitement générique, reproductible et avec des biais maîtrisés. Ces résultats permettront de valider l'usage de ces attributs pour l'analyse d'œuvres patrimoniales et auront des retombées évidentes pour le contrôle qualité par la Vision dans la spécification des actions de l'Usine du Futur.

Les expérimentations auront lieu à partir de bases d'images de synthèses à développer pour cette configuration et pour une base d'images de texture qui sera à constituer de façon à couvrir tout le spectre de la complexité spatio-chromatique (aspects conjoints des dimensions liées aux fréquences spatiales et distributions chromatiques).

*Métrologie de l'apparence des matériaux*

**Résultat attendu** : *un système d'acquisition goniométrique d'images spectrales.* L'objectif est de pouvoir capter rapidement plusieurs images hyperspectrales d'une surface de matériau. Ces images vont permettre de recomposer à la fois la rugosité de surface du matériau et de capter l'information de réflectance spectrale caractérisant une partie de l'apparence de ce matériau pour un angle d'observation et un angle d'illumination donnés. Un tel système d'analyse vient renforcer les moyens d'acquisition spectraux déjà acquis dans le cadre de la première phase du programme NUMERIC (2015-2019). Il se place également en complémentarité du projet transverse entre l'axe 1 et l'axe 2 (projet « Photogrammétrie basé physique ») qui vise à l'acquisition d'images sur site patrimonial.

Le système sera composé de deux bras robotisés collaboratifs au bout duquel une caméra hyperspectrale sera fixée pour l'un et un système d'éclairage pour l'autre. La caméra hyperspectrale devra permettre d'acquérir dans le domaine visible et le proche infra-rouge, à une distance allant de 1 mètre à 5 mètres selon les configurations. À terme, il est prévu d'étendre les possibilités d'acquisition dans d'autres domaines du rayonnement électromagnétique. Cette structure est donc prévue pour être pérenne sur de nombreuses années, en tant que système de laboratoire pour acquisition de haute précision. L'objectif est de pouvoir travailler en complément des mesures in-situ captées par les moyens d'acquisition à acquérir dans le projet transverse « Photogrammétrie basée physique ». Ce système permettra de développer des applications de contrôle qualité pour l'Usine du Futur, ou des modèles numériques de matériaux pour les applications des ICC (industrie du jeu, ou de réalité augmentée/ virtuelle pour la valorisation des œuvres et du Patrimoine).

Un système d'éclairage normalisé sera associé pour disposer d'une intensité suffisante dans les petites et grandes longueurs d'ondes (Bleu et Rouge). Ce point est crucial compte tenu des dernières évolutions dans les systèmes d'éclairage et de la faible sensibilité des capteurs hyperspectraux aux extrémités des plages d'acquisition.

Une base de mesures sur l'apparence de matériaux liés au Patrimoine sera constituée. Cette base donnera des premiers éléments pour adresser les questions liées à la mesure des fonctions de distribution de la réflectance spectrale bidirectionnelle (S-BRDF) des matériaux analysés, ainsi que des questions liées à la mesure des fonctions de texture spectrales Bidirectionnelles (SBTF). Ce travail est au cœur des travaux internationaux de recommandation en cours sur la métrologie de l'aspect des surfaces/objets et leur impact sur l'Industrie du Futur (contrôle qualité, jumeaux numériques, synthèse additive, ...).

*Reconstruction basée physique des matériaux*

**Résultat attendu :** *Un outil de reconstruction physique avec rendu basé physique des échantillons acquis.*

Certaines des grandes œuvres patrimoniales régionales sont en voie de disparition. Ce qui est à terme une catastrophe culturelle et touristique. Afin de proposer des solutions à cet inéluctable, les mesures captées doivent permettre la construction de « *jumeaux numériques* » autorisant la valorisation mais surtout de futurs travaux et études de recherche. La contrainte est de pouvoir proposer une reconstruction physique la plus exacte possible pour permettre a posteriori des mesures dans l'espace physique reconstruit.

La reconstruction à produire devra intégrer à la fois les problématiques d'angle d'observation et d'éclairage et celles de rugosité (niveau de l'état de l'art actuel) induisant des effets d'optiques et sensation de mouvement. Cette reconstruction devra également aborder l'intégration de la mesure de non-uniformité spectrale (point d'innovation). L'impact du sous-échantillonnage spectral (de l'hyperspectral au multispectral) sera également étudié pour permettre la combinaison de mesures/images spectrales issues de capteurs de résolution spatiale et/ou spectrales différentes. La reconstruction de l'aspect tridimensionnel de la surface sera effectuée à partir des images spectrales proposant pour la première fois cette possibilité.

*Pérennité et transfert de la métrologie spectrale*

**Résultats attendus :** *La reconnaissance du projet comme étant à la pointe de la métrologie spectrale et couleur des surfaces.*

XLIM est présent dans plusieurs comités techniques internationaux en charge des recommandations et normalisation (CIE, ISO). Les travaux menés doivent contribuer à la production des futurs standards et continuer à faire rayonner le savoir-faire régional. Dans le même temps, le projet assurera la diffusion de ces avancées dans le territoire régional au travers du pôle de compétitivité régional Alpha-RLH et des clusters d'entreprises liés à l'image et à l'Usine du Futur (Eurekatech typiquement). Nous assurerons la présence des membres du projet

- Dans les comités nationaux et internationaux de recommandation et standardisation : CIE, CIE division 8 et ses comités techniques dédiés (TC8-14, TC8-17, JTC-2...), ISO, IEEE
- Dans les groupes de travail nationaux et internationaux fédérant ces innovations de recherche en liaison avec les industriels du domaine.
- Dans les conférences scientifique et technique du domaine pour promouvoir l'innovation développée dans le cadre de ce projet.

L'ensemble de cette activité doit induire qu'à terme les innovations produites soient incluses toutes ou en parties dans des documents recommandant leur usage.

### **Apprentissage de 4ème génération**

*Apprentissage basée métrologie*

**Résultat attendu :** *un logiciel définissant une architecture d'apprentissage profond basé sur des attributs métrologiques.* Ce système d'apprentissage profond intègrera les mesures, statistiques et attributs spectraux développés dans l'action e-Patrimoine. L'application cherchera à exploiter l'intégralité des mesures spectrales acquises, là où les approches concurrentes n'exploitent qu'incomplètement et imparfaitement la mesure spectrale.

- À l'opposé des approches en cours qui considèrent le spectre comme un vecteur perdant ainsi tout le contenu métrologique, l'idée est d'intégrer dans le moteur d'apprentissage profond les problématiques métrologiques de différence spectrale, de statistiques spectrales et d'attributs texture spectraux.

- Derrière cette question théorique se cache avant tout les futures applications industrielles pour lesquelles le capteur est défini suivant le besoin applicatif. L'auto-encodeur dans ce cadre devra aider à définir à la fois les besoins d'acquisition en termes de résolution spectrale et spatiale, mais aussi la nature des mesures nécessaires dans un rapport coût vs précision choisi. Les applications valent à la fois pour le domaine du Patrimoine où les mesures combinent les domaines ultra-violet, infra-rouge et visible et les applications liées à l'Usine du Futur pour le contrôle qualité des nouveaux matériaux.
- La validation et la confrontation avec les derniers résultats du domaine s'effectuera sur des bases d'images hyperspectrales publiées (essentiellement dans le domaine des images aériennes et satellitaires). Les résultats seront appliqués aux images Patrimoniales pour l'aide à la détection de la nature des pigments, et des mélanges de pigments/liant présent dans les œuvres étudiées.

#### *Enrichissement d'images*

**Résultat attendu :** *Logiciel de combinaison des mesures issues des différents capteurs de résolution spatiale et spectrale différentes.*

- La problématique posée est celle de la compatibilité et/ou de l'enrichissement des mesures issues d'une même zone prise dans des temps proches par plusieurs capteurs de capacités spectrales différentes (« Pansharpening »). Typiquement, cela correspond à des acquisitions combinant capteurs couleurs, capteurs multi et/ou hyperspectraux et mesures ponctuelle spectrales. Les applications portent bien évidemment sur les applications pour le patrimoine du présent projet. Mais les retombées sont bien plus vastes avec des enjeux majeurs pour les applications agro-environnementales pour lesquelles sont combinées des mesures satellitaires, aéroportées et embarquées sur drones ou véhicules agricoles.
- La validation sera effectuée sur des images patrimoniales à partir de caméras couleur, multi et hyperspectrales. Les mesures de performances seront développées à partir des challenges en cours en imagerie satellitaire.

#### *Participer aux groupes de travail internationaux*

**Résultat attendu :** *Le compte-rendu de présence des membres du projet aux principaux points de rendez-vous de la communauté liée au Pansharpening.*

Les actions de cet objectif sont liées aux groupes internationaux en *Remote Sensing*, actuellement orientés vers des approches non-métrologiques exploitant des outils d'apprentissage profond. Aucun groupe de recommandations, standardisation n'existe, en dehors du groupe de travail JTC2 sous l'égide de la CIE portant sur le « Spectral Imaging ». Pour faire reconnaître les innovations scientifiques et technologiques, il faut assurer la présence des membres du projet aux conférences où se regroupe cette communauté (WHISPER par exemple) et dans les revues lues par les professionnels du domaine (IEEE JSTAR, Remote Sensing, Sensor, ...).

L'objectif est de participer ou alors de proposer une réponse à un appel à projet européen H2020 sur ces enjeux de métrologie spectrale et d'apprentissage profond pour des applications agro-environnementales.

#### **Futur de la métrologie en contexte SHS/SHA**

##### *Valider les modèles numériques de jeu*

**Résultat attendu :** *Un logiciel de modélisation procédural à base de règles de transformation de graphes pour des modèles de « jeu » architectural archéologique.*

- La librairie logicielle GERBOA est au cœur de cette action pour permettre de modéliser des environnements complexes et leurs interactions. Après l'intégration de fonctions de base dans la phase I du développement, il est attendu un second jeu de fonctionnalités plus complexes.
- À partir de cette librairie logicielle, une première application sera constituée permettant de sortir des scénarii d'évolution et des animations associées à l'état d'un site archéologique. Un tel logiciel est une attente qui permettra de travailler sur la valorisation culturelle et touristique des sites, mais aussi sur

les besoins en termes de protection des sites archéologiques par anticipation sur l'évolution temporelle probable en fonction des actions/non-actions de protection.

*Améliorer le traitement des corpus écrit/oral*

**Résultat attendu** : Deux logiciels de mesure de similarité, puis de recherche de séquences de mouvement de la main d'une part et du signal audio de l'oralisation de la langue anglaise d'autre part.

Une première phase de développement a permis de produire les premières briques logicielles des applications de suivi du mouvement d'écriture manuscrit et de l'oralisation de la langue anglaise. Des outils avancés basés sur les x-lets ont permis de décomposer ces signaux. Passée cette première phase de conception, il faut améliorer les outils scientifiques de fond pour mieux segmenter/rechercher les signaux du mouvement de la main, ou les signaux audio. Le principal manque à palier est celui de la structuration par graphe des contenus et de la mesure de similarité entre ces graphes.

*Pérenniser la plateforme du Patrimoine Oral du Grand-Ouest*

**Résultat attendu** : Mise en place d'une interface sécurisée d'interrogation et de gestion des données multimédia du Patrimoine Oral du Grand-Ouest.

Les derniers efforts entrepris ont permis de mettre en place un outil de gestion des données et informations (back-end). Un effort important a également été développé pour rendre l'application indépendante du support initial qui n'était pas complètement *open-source*. Cette dernière partie du développement vise à doter l'application d'une interface fonctionnelle et facile à utiliser dans des contextes culturels et touristiques. Elle vise également et à sécuriser l'application pour qu'elle soit parfaitement pérenne dans un schéma répondant aux normes de l'*open-source* et de l'*open-data*.

Coût total : 473 045 euros HT

Montant de l'aide européenne sollicitée : 335 550 euros, soit 70,93 % du coût du projet

Autre financement public sollicité sur l'opération : 137 495 euros (CPER Région)

Financements privés : /

Autofinancement : /

Programme CPER : NUMERIC