



FORMULAIRE DE CANDIDATURE

APPEL À PROJETS « APPEL A PROJETS RECHERCHE 2022 »

Document complémentaire à une demande de subvention déposée en ligne

IMPORTANT : Chaque projet doit faire l'objet d'une demande spécifique

Ce formulaire :

1°) Doit être placé en pièce jointe d'une demande de subvention déposée en ligne sur :

<https://subventionsenligne.mareregionsud.fr>

2°) Doit être adressé par mail, le formulaire scientifique seul (sans les annexes administratives)

à :

ldelamare@mareregionsud.fr

CONTACT APPEL A PROJETS RECHERCHE

Laura DELAMARE

Gestionnaire administrative

Direction de l'Attractivité, du Rayonnement International et de l'Innovation

Service Recherche, Enseignement Supérieur, Santé et Innovation

ldelamare@mareregionsud.fr

04 91 57 57 84

Préambule :

L'emploi et la croissance sont des axes forts de la politique régionale conduite en matière de développement économique. A ce titre, la Région soutient le développement de l'environnement économique régional au travers de sa politique menée en matière de recherche et d'innovation, notamment par la consolidation du potentiel scientifique régional qui constitue le socle sur lequel se développe l'écosystème régional de l'innovation.

En effet, la Région a souhaité renforcer les connaissances scientifiques qui permettront les innovations industrielles et de services en lien avec les filières stratégiques et les technologies clés de la région, définies dans le schéma régional de développement économique, d'innovation et d'internationalisation (SRDEII) approuvé en mars 2017.

Cette politique a été renforcée par l'adoption en 2017, du schéma régional de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation qui s'articule autour des 3 ambitions suivantes :

- Soutenir l'innovation et la compétitivité du territoire par la formation et la recherche.
- Développer l'excellence, l'attractivité et le rayonnement des établissements régionaux d'enseignement supérieur et de recherche.
- Favoriser la réussite des étudiants.

APPEL A PROJETS RECHERCHE VOLET GÉNÉRAL

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Organisme gestionnaire	<i>Avignon Université</i>
Acronyme du projet de recherche	<i>IMOPRES</i>
Intitulé du projet	<i>Imagerie Multi Ondes pour la PROspection de l'Eau Souterraine</i>
Mots clés (5 maximum)	<i>Imagerie, multi-ondes, eau, sous-sol</i>
Nom et prénom du porteur de projet	<i>Slimane ARHAB</i>
Fonction	<i>Maître de Conférences</i>
Laboratoire	<i>UMR 1114 INRAE-AU EMMAH</i>
Organisme de rattachement	<i>Avignon Université</i>
Adresse Email personne(s) référente(s)	<i>slimane.arhab@univ-avignon.fr</i>
Numéro de téléphone	<i>04.90.14.44.59</i>

THÉMATIQUES DU PROJET DE RECHERCHE

**Thématique
principale**
(1 seule case à
cocher)

- ☐ Biologie / Santé
- ☐ Chimie
- ☐ Environnement
- ☒ Ingénierie / Physique
- ☐ Sciences de l'Univers
- ☐ Mathématique / Informatique
- ☐ Sciences humaines et sociales
- ☐ Sciences économiques
- ☐ Sciences juridiques

**Thématique(s)
secondaire(s)
concernée(s)**
(facultatif)

- ☐ Biologie / Santé
- ☐ Chimie
- ☒ Environnement
- ☐ Ingénierie / Physique
- ☐ Sciences de l'Univers
- ☐ Mathématique / Informatique
- ☐ Sciences humaines et sociales
- ☐ Sciences économiques
- ☐ Sciences juridiques

**Filières
stratégiques
&
technologies
clés**

- ☒ Énergies de demain et écotechnologies
- ☐ Aéronautique, spatial, défense
- ☐ Industrie maritime, portuaire et logistique
- ☒ Agriculture, agroalimentaire et cosmétiques
- ☐ Santé
- ☐ Silver économie
- ☐ Tourisme, culture, art de vivre, sport
- ☐ Technologies clé du numérique (dont IA, cybersécurité, santé-numérique...)
- ☒ Technologies clé optique-photonique
- ☐ Technologies clé chimie-matériaux

Description détaillée dans
l'annexe 3 du SRDEII

Merci de préciser ci-après le lien avec la ou les filières stratégiques rattachées au projet :

La valorisation, la meilleure gestion des ressources en eau, l'amélioration et la protection de la ressource pour les captages d'eau potable est un axe transversal aux filières stratégiques "énergies de demain et écotechnologies" et "agriculture, agroalimentaire et cosmétiques". Dans ce projet, il est question de développer une nouvelle **méthode physique** pour la **prospection de l'eau souterraine**. La prospection **multi-ondes** du sous-sol que nous nous proposons d'étudier, résonne par ses outils théoriques numériques et expérimentaux avec une partie des technologies clés optique-photonique,

définies via le cadrage scientifique de la plateforme européenne Photonics21. En effet, dans ce dernier, il est question d'un volet conséquent sur les méthodes d'imagerie dans le domaine optique mais aussi aux autres échelles (micro ondes, rayons x), de l'imagerie multi modale donc avec des physiques différentes (tomographie de cohérence optique, élastographie), et de traitements algorithmiques sophistiqués des données. Dans le présent projet, nous combinons une excitation multi-ondes (multi modale) du sous-sol avec des algorithmes d'optimisation pour le traitement des données terrain.

Partenaire(s) :

NOM	PRÉNOM	FONCTION	LABORATOIRE	ORGANISME DE RATTACHEMENT
GINOUX	Cyril	Technicien	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
ABBAS	Chahine	Maître de conférences	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
POZZO-DI-BORGO	Elisabeth	Maître de conférences	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
MESGOUEZ	Arnaud	Maître de conférences	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
LEFEUVE-MESGOUEZ	Gaëlle	Professeur	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
ARHAB	Slimane	Maître de conférences	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
LOMBARD	Olivier	Maître de conférences	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
MICOLAU	Gilles	Professeur	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
NEVEUX	Philippe	Maître de conférences	EMMAH, équipe PHYSIQUE	Avignon université
VALOIS	Rémi	Maître de conférences	EMMAH, équipe HYDRO	Avignon université
CHALIKAKIS	Konstantinos	Maître de conférences	EMMAH, équipe HYDRO	Avignon université
BUIS	Samuel	Ingénieur de Recherche	EMMAH, équipes DREAM et CAPTE	INRAE
DOUSSAN	Claude	Chargé de Recherche	EMMAH, équipe SWIFT	INRAE
RUY	Stéphane	Chargé de Recherche	EMMAH, équipe SWIFT	INRAE
GAFFET	Stéphane	Directeur de Recherche	UAR LSBB	CNRS
LAZARO ROCHE	Ignacio	Ingénieur de Recherche	UAR LSBB	CNRS

Budget du projet de recherche

	BUDGET GLOBAL	MONTANT SUBVENTIONNABLE (*)	MONTANT DEMANDÉ À LA RÉGION (**)	HT OU TTC
INVESTISSEMENT	141124	141124	98000	HT
EMPLOI JEUNE DOCTORANT				

(*) Il s'agit du **budget directement géré par le bénéficiaire-gestionnaire** :

Ce montant qui peut être inférieur ou égal au coût total de l'opération ne doit concerner que les dépenses qui seront réellement engagées et justifiées par le bénéficiaire de la subvention. Les salaires des personnels statutaires engagés dans le projet ne peuvent pas être pris en compte dans le calcul de cette assiette subventionnable.

(**) La Région ne peut financer plus de 70% des dépenses éligibles. Son intervention est plafonnée à 150 000 € pour les dépenses d'investissement

Nota :

- Les dépenses engagées et justifiées par la tutelle bénéficiaire de la subvention devront être conformes aux dépenses inscrites dans le plan de financement ci-après.
- Indiquer la date prévue de la réponse aux cofinancements sollicités. Ceux-ci doivent impérativement être acquis dans l'année.
- La Région ne peut financer une tranche d'un projet que si la ou les précédente(s) tranche(s) ont été engagée(s) et/ou justifiée(s).

Pour le chef de file: (*nom, prénom, signature, date*) :

Le Président d'Université

ou

Le Délégué régional de l'Organisme

Le

Le

Visa des tutelles partenaires

Le Président d'Université

ou

Le Délégué régional de l'Organisme

Le

Le

Remarque : en cas de rattachement des équipes et des dépenses subventionnables à deux tutelles différentes, veuillez dupliquer :

- cette page et la faire signer par chacune des tutelles bénéficiaires sur la demande financière la concernant
- renseigner autant de plans de financement que de tutelles bénéficiaires

Résumé du projet de recherche en français (20 lignes maximum)

La ressource en eau et sa gestion font partie des discriminants clefs du changement climatique et de la transition technologique qui l'accompagne. Ce projet s'intéresse à l'élaboration d'un système d'imagerie novateur pour la caractérisation des réserves en eau naturelles et le suivi des transferts hydriques dans le sous-sol. Ce système sera en capacité de construire pour ce milieu complexe, un hologramme (cartographie tridimensionnelle) qui sera dynamique (suivi temporel) et de très haute définition (résolution spatiale élevée de l'ordre de la dizaine de centimètres). Ce système permettra d'investiguer le sous-sol sans l'altérer (sondage non destructif), en y envoyant deux types d'ondes de natures physiques différentes, des ondes électromagnétiques et des ondes sismiques. Les deux sont en effet porteuses d'informations complémentaires sur l'eau et sur la structuration du sous-sol. Leur exploitation combinée permettra de lever le verrou technologique par la production d'hologrammes à haute résolution spatiale. Ces ondes vont interagir avec les différents constituants du sous-sol (zone saturée en eau, faille, cavité, parties denses, etc). L'écho récupéré (signal détecté) est ensuite traité par des algorithmes sophistiqués, qui font intervenir une modélisation rigoureuse de l'interaction multi-ondes/milieu-complexe ainsi que des approches d'optimisation du problème inverse, qui tiennent compte de toute l'information contenue dans les signaux issus des deux physiques. En surface, l'excitation puis l'enregistrement de l'écho électromagnétique qui en résulte seront assurés par un géoradar. Pour le cas mécanique, on fera intervenir un radar sismique qui fonctionne selon un principe identique. Ce projet contribuera ainsi à faire la démonstration d'un nouveau système d'imagerie aux capacités surpassant les dispositifs d'imagerie existants dans le commerce, qui ne tiennent compte que d'une partie très restreinte des signaux et que d'une seule physique, mais aussi de contribuer à une meilleure connaissance et compréhension du fonctionnement hydrique des milieux souterrains.

Présentation détaillée du projet (2 pages max, en français) – Préciser l'état de l'art. Faire ressortir le caractère novateur, les enjeux scientifiques et les retombées attendues).

On entend par **système d'imagerie** toute la chaîne d'études qui regroupe l'utilisation et/ou la conception de l'instrument de mesure, l'élaboration des algorithmes de traitement des données dans lesquels sont codées les modélisations directes et inverses des équations des physiques sous-jacentes. Le géoradar et le radar sismique existant dans le commerce fournissent des données expérimentales riches en information. Cependant, les logiciels de traitement des données qui sont actuellement proposés fonctionnent selon les principes des temps de vol, et n'utilisent donc qu'une partie très restreinte de l'information contenue dans le signal mesuré. En effet, pour ne citer que deux exemples, les diffusions multiples des ondes électromagnétiques entre les hétérogénéités du milieu ou les conversions d'ondes mécaniques à l'interface solide/fluide sont complètement négligées par ces modèles approchés, alors que ce sont ces phénomènes qui génèrent le signal discriminant sur la position, la forme et la composition exactes des hétérogénéités. Lorsqu'ils sont négligés dans le traitement des données, il en résulte une **mauvaise résolution spatiale**, une **apparition d'artefacts** tels qu'une présence d'objets fantômes restreignant les **systèmes actuels** à une imagerie qualitative du milieu.

Pour aller vers un **système d'imagerie quantitatif et "super résolu"**, nous traitons le signal mesuré par une inversion de la forme d'onde complète, dans laquelle ce signal est rigoureusement et entièrement modélisé par une résolution numérique basée sur la méthode des éléments finis des équations fondamentales des physiques étudiées, à savoir les équations de Maxwell pour les données électromagnétiques et les équations de la viscoélasticité pour les données sismiques. Ce type de résolution permet de tenir compte de tous les phénomènes physiques subtiles pouvant se produire dans le sous-sol (diffusions multiples, conversion d'ondes, ondes de surface, etc). Leur intensité dépend fortement de la répartition des valeurs des paramètres électromagnétiques (permittivité diélectrique, conductivité électrique) et mécaniques (masse volumique, premier et second paramètres de Lamé). Par conséquent, c'est par l'intermédiaire de ces paramètres que nous imagerons le sous-sol avec comme objectif la construction d'une **cartographie tridimensionnelle**.

L'obtention de cette dernière requiert la résolution d'un problème inverse non linéaire par la méthode de l'adjoint dans laquelle, en plus des ondes émises par les émetteurs, des ondes fictives sont émises dans le milieu depuis les récepteurs. Cela permet de construire un minimiseur qui réduit progressivement l'écart entre les données expérimentales et les données simulées. Cette méthode, connue pour sa capacité à inverser sur des domaines de grande taille, a été appliquée avec succès dans d'autres contextes tels que la profilométrie optique et la sismologie globale. Le lien entre les cartographies des paramètres physiques et la répartition de l'eau et des autres constituants du sous-sol sera ensuite fait grâce à des lois empiriques ou des données tabulaires. En plus de cette exploitation complémentaire des paramètres physiques reconstruits indépendamment les uns des autres, et toujours dans l'idée de faire la démonstration d'un système d'imagerie aux capacités améliorées, nous envisageons une **inversion conjointe** des données mécaniques et électromagnétiques, c'est-à-dire en corrélant leurs cartographies respectives à travers un processus itératif de minimisation simultanée des écarts entre les données expérimentales et les données simulées pour les deux physiques. Pour accentuer la proportion d'informations sur le sous-sol présente dans le signal mesuré, des **techniques d'analyse de sensibilité** seront utilisées pour trouver le positionnement optimal des émetteurs/récepteurs ainsi que les fréquences les plus pertinentes à mettre en jeu.

Pour renforcer cette activité de modélisation et d'inversion, l'équipe de Physique de l'UMR EMMAH a investi dans l'achat de deux calculateurs et d'un logiciel éléments finis. Un doctorant a été recruté depuis le 01/10/2021 sur une bourse ministérielle pour une durée de trois ans, le titre de la thèse étant : "Caractérisation de milieux naturels à l'échelle macroscopique par approches ondulatoires mécanique et électromagnétique. Application à l'étude de l'impact de la teneur en eau sur les caractéristiques physiques d'un milieu hétérogène." Ce travail de thèse consiste exclusivement en l'élaboration de méthodes et d'algorithmes d'inversion multiparamétrique des formes d'ondes électromagnétique et mécanique complètes.

Ce projet a besoin d'être renforcé sur son **volet expérimental par l'acquisition d'équipements nouveaux**, ils contribueront à la production de signaux mesurés sur des sites d'intérêt, leur traitement permettant via une imagerie des paramètres physiques de caractériser les transferts hydriques dans le sous-sol. Un **radar sismique portable commercial**, premier objet de cette demande, permettra de faire des acquisitions aussi bien au sein du LSBB qu'en dehors sur des sites naturels d'intérêt du bassin versant de Fontaine de Vaucluse, sites dont l'équipe des hydrogéologues (HYDRO) a une très bonne connaissance de la morphologie du sous-sol. D'autres caractérisations sont également prévues sur des terrains de type parcelle agricole, instrumentés par l'équipe SWIFT de l'UMR EMMAH.

Dans le cadre du projet européen MIGA (Matter wave - laser based Interferometer Gravitation Antenna), le développement d'un nouvel outil de détection des ondes gravitationnelles, qui sera installé dans les nouvelles galeries creusées à cet effet au LSBB, nécessitera une caractérisation de cet environnement par géoradar. L'une des actions de recherche de l'accord de collaboration de recherche international (IRP pour International Research Project), intitulé "Maxwell - Berger Low-Noise Underground Research Laboratory" entre le LEAT à Sophia-Antipolis, Avignon Université, l'Université de Pau et des Pays de l'Adour et l'Université de Colombie Britannique à Vancouver, porte justement sur l'utilisation d'un nouveau prototype de géoradar ultra large bande et à très forte dynamique pour la caractérisation électromagnétique de la galerie accueillant MIGA. Une fois qu'il sera monté sur un système de transport adapté à deux chariots, ce radar permettra de récupérer des mesures expérimentales sur le champ électrique en vue de caractériser le sous-sol et d'évaluer la quantité d'eau présente sur les mêmes sites naturels que pour le radar sismique. Nous pourrions alors obtenir une imagerie multi-paramétrique multi-ondes. Ce radar qui a déjà été conçu nécessite désormais **d'être monté sur deux chariots spécifiques**, deuxième objet de cette demande, l'un transportant une antenne émettrice et l'autre l'antenne réceptrice, la distance entre les deux se réglant sur différentes valeurs pour multiplier les données (configuration dite du point commun). D'une part, il est prévu de maîtriser finement le positionnement pour offrir une résolution temporelle, obtenue en répétant les mesures exactement au même endroit de façon à monitorer la présence d'eau. Pour maîtriser ce positionnement, les chariots seront équipés de roues motorisées et pilotées. D'autre part, pour éviter des effets de couplage électromagnétique qui viendraient perturber la mesure, des matériaux amagnétiques seront utilisés pour la conception des chariots support de caisson. Les deux caissons d'antennes auront un blindage

extérieur spécifique. Pour finir, un système de batterie-onduleur viendra assurer l'autonomie de l'ensemble.

Dans ce projet sont prévues des comparaisons entre les performances de ce système d'imagerie multi-ondes en forme d'onde complète, avec d'autres techniques de sondage géophysique telles que : la tomographie de résistivité électrique, la tomographie muonique, l'imagerie par résonance magnétique protonique et l'imagerie magnétostatique avec différentes boucles de courant (EM31 et EM34) disponibles au sein de l'UMR et de l'UAR.

En résumé, le projet présenté demande l'acquisition d'un **radar sismique** et d'un **système de chariots** pour le géoradar EM. Il bénéficiera des acquisitions déjà faites des serveurs de calculs, du logiciel EF, du recrutement d'un nouveau doctorant pour mettre au point les algorithmes d'inversion, du nouveau géoradar ultra large bande du projet Maxwell-Berger, et d'une comparaison avec les techniques géophysiques de caractérisation dont les partenaires de ce projet ont l'expertise.

Pour finir, ce projet, par son lien avec le projet européen MIGA, contribuera au rayonnement scientifique de la Région. Il vise la démonstration d'un système d'imagerie performant en lien avec les technologies clés identifiées par la région sur la base du cadrage de la plateforme européenne Photonics21. Le réchauffement climatique induit une raréfaction des ressources en eau, par ce projet, nous proposons une méthode de prospection performante pour la détection et le suivi des ressources hydriques dans le sous-sol.

Précisez la nature de la contribution et les retombées attendues :

Compte tenu de l'objectif de l'exécutif régional de faire de Provence-Alpes-Côte d'Azur le moteur des accords sur le climat, "une COP d'avance le Plan climat" et des mesures mises en œuvre en 2018 :

Compte tenu de l'objectif de l'exécutif régional de faire de Provence-Alpes-Côte d'Azur le moteur des accords sur le climat, "Gardons une COP d'avance" et des mesures mises en œuvre en 2021 notamment à travers son axe 6 « Chez vous, au quotidien », mesure 104 : Orienter 40 % des financements régionaux de soutien à la recherche (appels à projets recherche, emplois jeunes doctorants et projets collaboratifs de recherche-développement) en faveur de la lutte contre le changement climatique.

Précisez la nature de la contribution et les retombées attendues.

Ce projet s'inscrit dans le contexte de la mesure régionale 104 en faveur de la lutte contre le changement climatique, mais aussi de la mesure 62 pour la protection des ressources en eau superficielles et souterraines. En effet, par ce projet consacré à l'élaboration d'un système d'imagerie innovant pour la détection et la caractérisation précises de l'eau et de son environnement en sous-sol, nous contribuons à une meilleure compréhension des mécanismes de transfert hydrique et donc à une meilleure gestion des réserves naturelles.

*Pour de plus amples informations sur le Plan climat régional, consulter
[Plan Climat : gardons une Cop d'avance - Ma Région Sud \(maregionsud.fr\)](http://PlanClimat.gardonsuneCOPdavance-MaRegionSud(maregionsud.fr))

Ce projet a-t-il déjà fait l'objet d'une demande de financement auprès du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur ? (si oui, indiquez-en quoi le présent projet a évolué)

Non, ce projet n'a pas fait l'objet d'une demande de financement auprès du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Cette demande d'équipement vient-elle en complément d'un financement obtenu grâce aux Investissements d'Avenir ? (si oui précisez)

Non, cette demande d'équipement ne vient pas en complément d'un financement obtenu grâce aux Investissements d'Avenir. Cependant, l'enveloppe globale sera complétée par des fonds propres et par une demande prioritaire de dotation dans le cadre du programme d'investissement pour la recherche d'Avignon Université.

Actions de diffusion scientifique grand public envisagées (détail des actions, type de public visé, collaborations éventuelles avec des partenaires...)

Les résultats obtenus à travers ce projet seront utilisés dans le cadre de nos **formations** : 1) auprès de stagiaires; 2) auprès d'étudiants dans le cadre de la mise en place d'exemples types d'exploitation de résultats simples et académiques à partir du matériel. Nous envisageons une mise en application dans les Unités d'Enseignement (UE) Professionnalisantes, les UE de stage de recherche, etc.

Les équipes Physique et Hydro de l'UMR EMMAH participent tous les ans à la **fête de la Science** et un atelier de démonstration de mesure sismique pour la caractérisation mécanique du sol sera mis en place dans le cadre de cet équipement spécifique. Nous y expliquerons les techniques actuelles qui focalisent sur les temps d'arrivée des ondes pour en déduire les vitesses et la difficulté de dissocier les ondes sur de courtes distances.

Le matériel pourra être également exploité en tant que démonstrateur lors des **journées du patrimoine** auxquelles le LSBB participe très régulièrement.

Publications du porteur de projet

N'indiquez que les 5 dernières publications en lien avec le projet (parues dans des revues internationales à comité de lecture) et les éventuels brevets déposés dans les 5 dernières années.

- 1) Didier Q., Arhab S. and Lefeuvre-Mesgouez G. « Regularized Gauss-Newton Iterative Scheme Applied to Shallow Subsurface Imaging ». Conference Proceedings, NSG2021 27th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Volume 2021, p.1-5. (DOI:<https://doi.org/10.3997/2214-4609.202120075>)
- 2) Arhab S., Anagnostou D. and Joelson M. « High-order functional derivatives of the scattered field according to the permittivity-contrast function », Wave Motion, Volume 83, p.67-79, 2018, Elsevier. (DOI:<https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2018.07.008>)
- 3) Arhab S., Joelson M. and Micolau G. « Newton-kantorovich method applied to the reconstruction of surface profiles under Tikhonov's regularization with domain constraint », Progress In Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS), p.3495-3500, 2017, IEEE. (DOI:<https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8262365>)
- 4) Arhab S. and Soriano, G. « Inverse Wave Scattering of Rough Surfaces with Emitters and Receivers in the Transition Zone », Progress In Electromagnetics Research, Volume 45, p.131-141, 2016, EMW Publishing. (DOI:<http://dx.doi.org/10.2528/PIERM15103003>)
- 5) Arhab S., Soriano G., Ruan Y., Maire G., Talneau A., Sentenac D., Chaumet P. C., Belkebir K., and Giovannini H. « Nanometric Resolution with Far-Field Optical Profilometry », Physical Review Letters, 111, 053902 - 2013 (DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.111.053902>)

Le cas échéant, information sur la participation des équipes* partenaires aux autres programmes de recherche cités dans le présent dossier et en lien direct avec celui-ci (indiquez la date de début et de fin du programme, le budget correspondant et la nature de la participation des équipes auxdits programmes).

Les équipes Physique et Hydro de l'UMR EMMAH sont impliquées dans l'accord de collaboration de recherche international intitulé "Maxwell - Berger Low-Noise Underground Research Laboratory". Ce dernier qui associe les compétences du LEAT à Sophia-Antipolis, d'Avignon Université, de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour et de l'Université de Colombie Britannique à Vancouver, vise comme objectif la réalisation, la mise en œuvre et le traitement de données d'un nouveau système d'imagerie micro-onde subsurface automatisé ultra large bande et à très forte dynamique, avec comme contexte applicatif la caractérisation de l'environnement entourant les nouvelles galeries récemment creusées au LSBB pour accueillir l'instrumentation du projet MIGA (Matter wave - laser based Interferometer Gravitation Antenna), un projet à l'échelle européenne de développement d'un nouvel outil de détection

des ondes gravitationnelles nécessitant une meilleure caractérisation de cet environnement. Le projet proposé ici est en particulier connecté au volet dédié à l'imagerie du milieu complexe du LSBB. Lien :

<https://univ-avignon.fr/international-signature-d-un-accord-de-projet-de-recherche-international-entre-avignon-universite-et-l-universite-de-colombie-britannique-canada-maxwell-berger-low-noise-underground-research-laboratory-mbl--26562.kjsp>

*Équipe : sous ensemble d'un laboratoire faisant l'objet d'une évaluation spécifique

Montage du projet (2 pages maximum)

Équipes participant au projet (intitulé, laboratoire et organisme de rattachement, responsables concernés, coordonnées tel et mail)

L'équipe **PHYSIQUE** de l'UMR 1114 EMMAH (INRAE-AU) porte le projet. Elle est rattachée à Avignon Université (AU).

Responsable et Directrice Adjointe UMR EMMAH depuis septembre 2019 : Gaëlle LEFEUVE-MESGOUEZ (e-mail : gaelle.mesgouez@univ-avignon.fr ; tel : 04 90 14 44 69)

Animateurs équipe Physique : Slimane ARHAB (e-mail : slimane.arhab@univ-avignon.fr ; tel : 04 90 14 44 59); Gilles MICOLAU (e-mail : gilles.micolau@univ-avignon.fr ; tel : 04 90 14 44 71)

L'équipe **HYDRO** de l'UMR EMMAH est rattachée à Avignon Université (AU).

Responsable et Directeur Adjoint UMR EMMAH depuis janvier 2021 : Christophe Emblanch (e-mail : christophe.emblanch@univ-avignon.fr ; tel : 04 90 14 44 02 ou 04 90 14 44 85)

L'équipe **DREAM** (Dynamique des terRitoires, fonctionnement des Espaces Agricoles et Modélisation) de l'UMR EMMAH est rattachée à INRAE.

Responsable : Dominique Courault (dominique.courault@inrae.fr ; tel : 04 32 72 23 85)

L'équipe **SWIFT** (Soil Water Interactions and transFer Team) de l'UMR EMMAH est rattachée à INRAE.

Responsable : Claude Doussan (claudedoussan@inrae.fr ; tel : 04 32 72 22 38)

Directeur de l'**UMR EMMAH** : Stéphane Ruy (e-mail : stephane.ruy@inrae.fr ; tel : 04 32 72 22 37)

L'UMR EMMAH fait également partie de la SFR TERSYS.

L'Unité d'Appui et de Recherche (UAR) **LSBB** est sous la co-tutelle du CNRS, d'Avignon Université, de l'Université de Nice-Sophia-Antipolis (UNS) et de l'Université d'Aix-Marseille (AMU).

Directeur : Stéphane Gaffet (e-mail : direction@lsbb.eu ; tel : .04.90.04.99.00).

Demande de financement d'un doctorant dans le cadre du projet :

☐ OUI ☒ NON

Si oui : Titre de la thèse envisagée, acronyme :

Laboratoire d'accueil :

Apports respectifs des équipes (du point de vue scientifique, technologique, ... faire ressortir les complémentarités) de chacune des équipes participantes et du doctorant envisagé précisant notamment son programme et les techniques mises en œuvre.

L'équipe **PHYSIQUE** est spécialisée dans le domaine de la mise en place de problèmes directs analytiques et numériques en propagation d'ondes mécaniques et électromagnétiques (Mesgouez *et al.*, 2009; Lefeuvre-Mesgouez *et al.*, 2012; Shakeri *et al.*, 2020; Bahari *et al.*, 2020; Gregor *et al.*, 2021), mais aussi en méthodes d'inversion appliquées à l'imagerie (Arhab *et al.*, 2018; Arhab *et al.*, 2017; Arhab *et*

al., 2016). Elle possède une expertise en électronique expérimentale et en analyse du signal (Neveux *et al.*, 2000), des savoir-faire utiles pour comprendre l'acquisition et pour débruiter les mesures. Elle développe désormais des méthodes d'inversion innovantes pour la caractérisation des sols à l'aide de plusieurs physiques (Didier *et al.* 2021). La gestion de différentes physiques rend les méthodes plus riches et plus précises. Dans le cadre de ce projet, l'équipe PHYSIQUE mettra à l'oeuvre son expertise en théorie et modélisation des problèmes directes et inverses multiphysiques, pour élaborer les algorithmes qui vont traiter et inverser les mesures géoradar EM et radar sismique en vue d'imager le sous-sol.

L'équipe **HYDRO** est spécialiste de géophysique expérimentale (Guérin *et al.*, 2009; Carrière *et al.*, 2016). Cette expertise est complémentaire à l'approche plus théorique et numérique de l'équipe Physique, et s'avère désormais nécessaire pour tester les méthodes d'inversion développées sur des données expérimentales maîtrisées en interne. L'équipe HYDRO permettra une utilisation optimale des appareils et aidera à la mise en place de campagnes de mesures efficaces. Par ailleurs et pour faire des comparaisons, l'équipe HYDRO possède des savoir-faire sur d'autres techniques géophysiques (résonance magnétique protonique, boucles de courant EM31 et Em34).

L'équipe **DREAM** analyse l'impact des changements globaux sur la ressource hydrique et la production agricole à l'échelle du territoire. En particulier, cette équipe possède une expertise reconnue sur l'analyse de sensibilité des paramètres (Roux *et al.*, 2019; Roux *et al.*, 2021). Les équipes Physique et Dream ont déjà collaboré dans un cadre restreint à la mécanique des milieux poreux par le passé (Mesgouez *et al.*, 2017). L'équipe DREAM contribuera en ce sens à discriminer les paramètres mécaniques et électromagnétiques influents des non influents dans chaque configuration d'étude et d'expérimentation. De plus, elle aidera au design expérimental pour une mise en place optimale des capteurs de façon à maximiser l'information dans le signal mesuré.

L'équipe **SWIFT** est responsable de l'instrumentation et du suivi des parcelles instrumentées INRAE. Elle possède une expertise sur des méthodes géophysiques de type ERT complémentaires aux méthodes proposées dans ce projet. La connaissance fine des parcelles INRAE permettra de contrôler au mieux l'étape d'initialisation des algorithmes d'inversion qui est un point clé pour la réussite d'une inversion (Srayeddin *et al.*, 2009; Ghorbani *et al.*, 2008).

Le **LSBB** est une plateforme interdisciplinaire pour la recherche, l'innovation scientifique et technologique située au cœur de la zone non saturée karstique carbonatée du bassin versant de Fontaine de Vaucluse. Il vise à favoriser les échanges entre milieu académique et milieu industriel. Il apportera un appui logistique et technologique en donnant accès aux différentes galeries équipées. Il permettra aussi l'accès aux résultats de mesures du géoradar électromagnétique monté sur les chariots (Fortino *et al.*, 2008). Le LSBB possède également une expertise en tomographie muonique (Hivert *et al.*, 2017), qui pourra servir dans ce projet comme une technique géophysique de comparaison.

Les points saillants de la complémentarité entre les équipes du projet sont ainsi résumés :

- équipe Physique, porteuse du projet : expertise analytique et numérique en méthodes directs et en inversion sur des problèmes de géophysique en ondes sismiques et électromagnétiques
- équipe Hydro : expertise expérimentale sur les mesures géophysiques de divers types
- équipe Dream : expertise numérique sur l'analyse de sensibilité et le design d'expérience
- équipe Swift : accès parcelles instrumentées INRAE, connaissance fine associée; expertise ERT
- LSBB : accès à des terrains diversifiés pour les expériences ainsi qu'à un support technologique de qualité; mise à disposition de résultats du géoradar

Moyens d'équipement et/ou de fonctionnement (*) demandés :

Nature des moyens sollicités, pertinence au regard du projet, mise en œuvre de l'utilisation conjointe par les partenaires et spécificité au regard des moyens existants (*NB : seuls sont éligibles à cet appel à projet les nouveaux équipements nécessaires à la réalisation du projet, préciser la localisation et fournir les devis correspondants*).

La réalisation du projet repose sur la mise en place de mesures géophysiques à partir de radars sismiques et électromagnétiques. Dans un premier temps, les équipes Physique et Hydro de l'UMR

EMMAH projettent une location de matériel pour le printemps 2022 (projet en cours de mise en place). Cependant, cette campagne nécessairement écourtée ne permettra de récupérer que des données partielles. Pour bien étudier les effets de l'eau, il est nécessaire de procéder à des campagnes de mesure régulières et réparties sur l'année en fonction des saisons et des épisodes pluvieux ou de sécheresse. Cela permettra de dresser des cartographies tridimensionnelles évoluant au cours du temps, lesquelles permettront de caractériser et de mieux comprendre la dynamique des transferts hydriques dans le sous-sol. La location de matériel coûte rapidement cher et doit être programmée sans connaître la météo au préalable. Disposer du matériel en local est donc un élément clé du projet. Dans la mesure où un géoradar sera mis en place au LSBB, le choix a été fait de l'**acquisition d'un radar sismique** et d'un **complément pour le radar électromagnétique** pour maîtriser finement son déplacement.

(*) dans les domaines des sciences humaines, sociales, économiques, juridiques, mathématiques et informatiques.

En cas de mutualisation de l'équipement

Comment est organisé l'accès à l'équipement ?

Planning détaillé étapes clés-et résultats attendus à chaque étape, indiquer les dates prévues d'acquisition des matériels.

***NB** : Par dérogation au règlement financier du Conseil Régional les subventions relatives à cet appel à projet doivent être justifiées dans un **délai de 3 ans** à compter de la date de la délibération du Conseil régional autorisant leur attribution.*

L'acquisition du matériel de mesure sismique est envisagée dès le début du projet. La première campagne de mesure aura lieu dès la réception et formation sur ce matériel et s'attachera à l'étude d'une parcelle agricole instrumentée de l'UMR EMMAH sur le site INRAE Saint Paul. Les chariots et le géoradar viendront compléter le matériel sismique dans un deuxième temps, dès que la première campagne de mesures aura été effectuée, c'est-à-dire dès la première année du projet et la campagne de mesure concernera alors le site du LSBB.

Par la suite, il est prévu des campagnes de mesures en fonction des saisons et des épisodes de sécheresses et de pluies : a minima 4 campagnes par an, une à chaque saison.

D'autres terrains nous intéressent et seront étudiés permettant d'élargir le domaine d'étude des sols agricoles à des environnements rocheux qui ont des comportements très différents. Ainsi, le LSBB et le domaine de Fontaine de Vaucluse permettront d'étudier les effets de l'eau dans un massif karstique alors que les parcelles INRAE porteront sur l'étude de sols agricoles.

Financement du projet :

- La Région ne peut financer plus de 70% du montant des dépenses éligibles. Le plafond de son intervention est fixé à 150 000 €
- Les cofinancements doivent impérativement être acquis dans l'année
- Le régime de TVA appliqué par la tutelle doit être précisé : montants **HT** ou **TTC**
- La Région ne peut financer une tranche d'un projet que si la ou les précédentes tranches ont été engagée(s) et/ou justifiée(s).

PLAN DE FINANCEMENT - INVESTISSEMENT

(Dupliquez en autant de tableaux que de tutelles bénéficiaires)

- Ne concerne que les dépenses engagées et justifiées par la tutelle bénéficiaire de la subvention

PROJET (ACRONYME) : IMOPRES

BÉNÉFICIAIRE (renseigner impérativement) : **AVIGNON UNIVERSITÉ**

DÉPENSES			RECETTES		
DÉTAIL	MONTANT (€)	HT ou TTC	ORIGINE	MONTANT (€)	A (acquis) ou S (sollicité) (*)
INVESTISSEMENT : (Détaillez impérativement)					
PEG40 (source sismique)	17464	HT	Fonds propres & UMR EMMAH	15000	A
Radar sismique (Smart Solo et équipements associés)	66460	HT	Avignon Université	28124	S
Système de chariots pour guidage fin GPR	57200	HT	Région PACA	98000	S
TOTAL DÉPENSES (**)	141124	HT	TOTAL RECETTES (**)	141124	HT

(*) Financements sollicités : indiquer la date prévue pour la réponse

(**) Le total des recettes doit être égal au total des dépenses

Nota : les dépenses engagées et justifiées par la tutelle bénéficiaire de la subvention devront être conformes aux dépenses inscrites dans le plan de financement ci-dessus.

Bibliographie

Mesgouez A. and Lefeuvre-Mesgouez G. (2009) Transient solution for multilayered poroviscoelastic media obtained by an exact stiffness matrix formulation. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 33: 1911-1931, DOI: <https://doi.org/10.1002/nag.797>

Lefeuvre-Mesgouez G., Mesgouez A., Chiavassa G., and Lombard B. (2012) Semi-analytical and numerical methods for computing transient waves in 2D acoustic/poroelastic stratified media, Wave Motion, 49(7), 667-680, ISSN 0165-2125, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2012.04.006>.

Shakeri R., Mesgouez A., and Lefeuvre-Mesgouez G. (2020) Transient response of a concrete tunnel in an elastic rock with imperfect contact. International Journal of Mining Science and Technology, 30(5), 605–612, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.008>

Bahari A., Lefeuvre-Mesgouez G., Mesgouez A., and Popplewell N. (2020) A comprehensive time-domain elasto-acoustics study of a fluid-filled spherical shell embedded in an elastic medium. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 132:106002, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.106002>

Gregor D., Moczo P., Kristek J., Mesgouez A., Lefeuvre-Mesgouez G., and Kristekova M. (2021) Subcell-resolution finite-difference modelling of seismic waves in Biot and JKD poroelastic media. Geophysical Journal International, 224(2):760–794, DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa454>

Arhab S., Anagnostou D. and Joelson M. (2018) High-order functional derivatives of the scattered field according to the permittivity-contrast function. *Wave Motion*, 83, 67-79, Elsevier, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2018.07.008>.

Arhab S., Joelson M., Micolau G. (2017) Newton-kantorovich method applied to the reconstruction of surface profiles under Tikhonov's regularization with domain constraint. *Progress In Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS)*, 3495–3500, IEEE, DOI: <https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8262365>.

Arhab S., and Soriano G. (2016) Inverse Wave Scattering of Rough Surfaces with Emitters and Receivers in the Transition Zone. *Progress In Electromagnetics Research*, 45, 131-141, EMW Publishing, DOI: <http://dx.doi.org/10.2528/PIERM15103003>.

Neveux P., Sekko E., and G. Thomas G. (2000) A constrained iterative deconvolution technique with an optimal filtering: application to a hydrocarbon concentration sensor, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 49, no. 4, pp. 852-856, DOI: <https://doi.org/10.1109/19.863937>

Didier Q., Arhab S., and Lefeuvre-Mesgouez G. (2021) Regularized Gauss-Newton Iterative Scheme Applied to Shallow Subsurface Imaging. *Conference Proceedings, NSG2021 27th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*, 2021, p.1-5, DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202120075>.

Guérin R., Baltassat J.M., Boucher M., Chalikakis K., Galibert P.Y., Girard J.F., Plagnes V., Valois R. (2009) Geophysical characterisation of karstic networks – Application to the Ouyse system (Poumeyssen, France), *Comptes Rendus Geoscience*, 341(10–11), 810-817, ISSN 1631-0713, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.08.005>.

Carrière S., Chalikakis K., Danquigny C., Davi H., Mazzilli N. *et al.* (2016) The role of porous matrix in water flow regulation within a karst unsaturated zone: an integrated hydrogeophysical approach, *Hydrogeology Journal*, 24(7), 1905-1918, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1425-8>

Roux S., Loisel P., & Buis S. (2019) A filter-based approach for global sensitivity analysis of models with functional inputs. *Reliability Engineering & System Safety*. 187, 119-128, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.01.012>

Roux S., Buis S., Lafolie F., Lamboni M. (2021) Cluster-based GSA: global sensitivity analysis of models with temporal or spatial outputs using clustering. *Environmental Modelling and Software*, 140, 105046, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105046>

Mesgouez A., Buis S., Lefeuvre-Mesgouez G., and Micolau G. (2017) Use of global sensitivity analysis to assess the soil poroelastic parameter influence. *Wave Motion*, 72:377–394, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2017.04.001>

Srayeddin I., Doussan C. (2009) Estimation of the spatial variability of root water uptake of maize and sorghum at the field scale by electrical resistivity tomography. *Plant and Soil*. 319 (1-2), 185-207, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9860-5>

Ghorbani A., Cosenza P., Ruy S., Doussan C., Florsch N. (2008). Non-invasive monitoring of water infiltration in a silty clay loam soil using Spectral Induced Polarization. *Water Resources Research*, 44, W08402, DOI: <https://doi.org/10.1029/2007WR006114>

Fortino N., Dauvignac J., Kossiavas G., Staraj R. (2008). Design Optimization of UWB Printed Antenna for Omnidirectional Pulse Radiation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 7, pp. 1875-1881. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAP.2008.924704>

Hivert F., Lázaro Roche I., Decitre J., Brunner J., Busto J., Gaffet S. (2017). Muography sensitivity to hydrogeological rock density perturbation: roles of the absorption and scattering on the muon flux measurement reliability. *Near Surface Geophysics*, Volume 15, Issue 2, p. 121-129. DOI: <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2016053>

CRITÈRES DE SÉLECTION DE L'APPEL À PROJETS OUVERTS 2022

VOLET GÉNÉRAL

■ Qualité scientifique :

- clarté du concept et des objectifs du projet,
- caractère novateur,
- enjeux scientifiques,
- faisabilité et adéquation du programme de travail.

■ Qualité de la mise en œuvre :

- *qualité et expérience du porteur de projet et des équipes associées (compétences, réalisations, publications majeures),*
- *caractère interdisciplinaire,*
- *implication des sciences humaines et sociales et juridiques,*
- *justification et qualité de la collaboration (notamment complémentarité et équilibre des équipes impliquées),*
- *spécificité des équipements demandés au regard du projet,*
- *pertinence du travail proposé au doctorant au regard du projet,*
- *adéquation globale et justification des moyens à mettre en œuvre (budget, personnel, équipement mobilisé),*
- *conditions de mutualisation des équipements, le cas échéant*
- *collaboration éventuelle entre entreprises régionales et laboratoires de recherche.*

■ Retombées attendues:

- *avancées scientifiques, diffusion des résultats,*
- *poursuite du projet ou nouveaux projets qui en découlent,*
- *applications éventuelles,*
- *contribution à la structuration des filières stratégiques et aux opérations d'intérêt régional du Schéma Régional de Développement Economique, d'Innovation et d'Internationalisation,*
- *dépôt de brevet envisagé,*
- *contribution au plan climat régional.*

ANNEXE 1

DOCUMENTS A FOURNIR IMPÉRATIVEMENT le 11 mars 2022 pour CHAQUE DOSSIER		
<u>VOLET GENERAL</u>		
1	Le dossier de candidature en ligne, ses pièces administratives exigées et le présent formulaire	
2	La délibération de l'organe délibérant décidant de la réalisation du projet, prévoyant son financement et sollicitant l'aide régionale	
3	Le rapport d'activité de l'année précédente dans le cas où un projet est présenté sous forme de tranches annuelles et qu'une ou plusieurs tranches ont déjà été subventionnées	
4	Pour chacun des 3 volets et de façon distincte : <ul style="list-style-type: none"> - l'avis motivé des commissions Recherche du Conseil académique des universités et/ou directions scientifiques des organismes de recherche de tutelle du porteur du projet - l'interclassement des projets par volet par l'établissement(*) 	
5	L'avis et la priorisation des projets par le Directeur de laboratoire si ce laboratoire présente plusieurs projets (ou de la structure fédérative éventuellement concernée)	
6	Le formulaire de demande d'emploi jeune doctorant 2022 (si demande commune à l'appel à projets recherche – volet général)	

(*) Il est impératif que chaque tutelle de rattachement établisse un interclassement de l'ensemble des projets déposés en son nom, distinct pour chacun des trois volets.

Le texte de l'appel à projets Recherche est consultable sur le site - www.regionpaca.fr

Pour tout complément d'information sur le formulaire de description du projet scientifique:

Direction de l'Attractivité, du Rayonnement International et de l'Innovation
Service " Recherche - Enseignement Supérieur — Santé - Innovation"

AAP Recherche : ldelamare@maregionsud.fr - Tel : 04 91 57 57 84

Nos références

GEOREVA

Instrumentation Géophysique
Zone Artisanale du Moulin
Rue du Puisatier
35310 CINTRE

N° Siret : 39822281000051

N.A.F. : 4652Z

N° intracommunautaire : FR49398222810

E-mail : info@georeva.eu

Contact : Guénaëlle Robin

Tél : 02.99.85.16.54

Vos références

UNIVERSITE AVIGNON PAYS DE VAUCLUSE

POLE FACTURIER - CASE 43
74 RUE LOUIS PASTEUR
84029 AVIGNON CEDEX 1
N° intracommunautaire : FR 50198406852

Informations sur le devis

N° du devis : OFV220111

Référence : G.MESGOUZ

Validité de l'offre : 30 Jours

Paieement : Mandat administratif

Délai de livraison : 6 à 8 semaines

Nous vous remercions de votre demande de prix et avons le plaisir de vous adresser le devis ci-joint, comme suit :

Détail de votre devis

Référence	Désignation	Quantité	P.U.H.T.	Remise	P.U.Net HT	Montant HT
1409-10	SmartSolo IGU-16HR -3C- 5HZ ; High battery capacity Incluant la batterie, le chargeur, le câble et le logiciel de transfert des données	24.00	1 265.00 €		1 265.00 €	30 360.00 €
1409-1	Rack transport "tout-en-un" pour (16) SmartSolo	1.00	18 100.00 €		18 100.00 €	18 100.00 €
1409-2	Licence logicielle SmartSolo - SoloLite	1.00	3 565.00 €		3 565.00 €	3 565.00 €
1301-4	Logiciel SEISIMAGER / SW, 2D (incl 1D MAM, 1D MASW, HVSR, 2D MASW)	1.00	2 945.00 €		2 945.00 €	2 945.00 €
1388	Logiciel d'inversion en tomographie sismique 3D GeoTomCG **** SIGMA	1.00	580.00 €		580.00 €	580.00 €
1362-01	SIGMA 4+3, enregistreur de vibrations sans alarme, sans batterie	1.00	4 975.00 €		4 975.00 €	4 975.00 €
1362-6	Géophone externe 3C - 2 Hz	1.00	630.00 €		630.00 €	630.00 €
1362-1	Batterie 99,9 WH pour SIGMA 4	1.00	340.00 €		340.00 €	340.00 €
1362-11	GPS SSC interne ou externe pour enregistreurs Seismic Source	1.00	455.00 €		455.00 €	455.00 €
1362-5	Logiciel de détection de seuils avec déclenchement d'alarme	1.00	3 200.00 €		3 200.00 €	3 200.00 €
0500	Frais de livraison GEODIS PRIX ESTIMATIF (84)	1.00	200.00 €		200.00 €	200.00 €
	**** FORMATION					
3003	Mise en route de matériel dans vos locaux - OFFERT	1.00	800.00 €	100%	0.00 €	0.00 €
3001	Frais de déplacement CINTRE(35) - AVIGNON(84)	1.00	750.00 €		750.00 €	750.00 €
3004	Contribution au temps de trajet (18€/h)	20.00	18.00 €		18.00 €	360.00 €

Total HT Devis N° OFV220111
66 460.00 €

Précisions : il s'agit de la première partie du devis du radar sismique, on y trouve entre autres : 24 capteurs 3D, des logiciels et les accessoires nécessaires.

Voir nos conditions générales de ventes.

Nous sommes à votre disposition pour tout complément d'information.
Cordialement,
Le Service Commercial



● Nos références**GEOREVA**

Instrumentation Géophysique
Zone Artisanale du Moulin
Rue du Puisatier
35310 CINTRE

N° Siret : 39822281000051

N.A.F. : 4652Z

N° intracommunautaire : FR49398222810

E-mail : info@georeva.eu

Contact : Guénaëlle Robin

Tél : 02.99.85.16.54

● Vos références**UNIVERSITE AVIGNON PAYS DE VAUCLUSE**

POLE FACTURIER - CASE 43
74 RUE LOUIS PASTEUR
84029 AVIGNON CEDEX 1
N° intracommunautaire : FR 50198406852

● Informations sur le devis

Référence : G.MESGOUZ

Validité de l'offre : 30 Jours

Délai de livraison : 5 à 6 semaines

Conditions de règlement :

Mandat administratif

Nous vous remercions de votre demande de prix et avons le plaisir de vous adresser le devis ci-joint, comme suit :

● Détail de votre devis

Référence	Désignation	Quantité	P.U.H.T.	Montant HT
1358	PEG-40 Propelled Energy Generator ** hors transport Includes: 1hp 12VDC Electric Motor, Gear Box, Single and Continuous Cycle Modes (3 to 5 second cycle time), Min. impact Frequency band: 10Hz – 250Hz, Light Weight Aluminum Frame, L-Bracket for Mounting Unit on 2" Square Receiver Hitch, (other Universal mount not included for mounting on vehicle, ATV or trailer), 40Kg Steel Hammer, Integrated Triggering Closure , Hand-Held Control Box, Aluminum Impact Plate 18 x 18 x 1" ,(45 x 45 x 2.5cm), Elastomer Band, Operator's Manual & Tool Kit	1.00	14 280.00 €	14 280.00 €
1358-1	Caisse bois réutilisable de transport pour la source PEG	1.00	200.00 €	200.00 €
1358-2	Kit d'outils pour le montage	1.00	360.00 €	360.00 €
1358-3	Elastiques pour source PEG-40	1.00	79.00 €	79.00 €
0507	Fret aérien US-Europe	1.00	1 900.00 €	1 900.00 €
0508	Taxes douanières import	1.00	385.00 €	385.00 €
0511	Frais de livraison Kuehne&Nagel PRIX ESTIMATIF (84)	1.00	260.00 €	260.00 €
Total HT Devis N°			OFV220113	17 464.00 €

Précision : Il s'agit de la deuxième partie du devis qui porte principalement sur la source sismique

Voir nos conditions générales de ventes.

Nous sommes à votre disposition pour tout complément d'information.

Cordialement,

Le Service Commercial



Michel AUGUSTE

Les Agachons

84480 BUOUX

Tél : 04 90 04 79 04

@mail: michel.auguste11@sfr.fr

Siret: 821 022 407 00018

I E M
Installation Electrique
et Maintenance

Laboratoire Souterrain à Bas Bruit

CNRS UMS3538

La Grande Combe

84400 RUSTREL

Tél : 04 90 04 99 00

Devis N° 2022002

Date: 25/02/2022

Désignation des prestations	Quantité	Prix unitaire HT	Total HT
Etude préliminaire , comprenant les plans d'ensemble et de détails des chariots, des caissons et des différents équipements pour imagerie radar dans la galerie MIGA.	1	4800 €	4800 €
Réalisation des 2 caissons d'antennes avec un blindage extérieur spécifique : <ul style="list-style-type: none">- Prix des matériaux- Coût des honoraires	1 1	4800 € 4200 €	4800 € 4200 €
Réalisation des 2 chariots support de caisson matériaux amagnétiques et équipements mécaniques : <ul style="list-style-type: none">- Prix des matériaux- Coût des honoraires	1 1	15200 € 16200 €	15200 € 16200 €
Réalisation du caisson technique comprenant les équipements pour l'autonomie en énergie (onduleurs) pour les instruments de mesure et en motricité (batterie et contrôleur) pour les moteurs incorporés dans les roues fixes des chariots : <ul style="list-style-type: none">- Prix des matériaux- Coût des honoraire	1 1	8200 € 3800 €	8200 € 3800 €
TVA non applicable, art 293 b du CGI		PRIX TOTAL HT:	57200,00 €