

REGIME d'appui aux PME pour l'innovation duale – RAPID

document de description du projet

Acronyme du projet	OPTOGEO
Nom complet du projet	Microbaromètre optique

Début envisagé des travaux	01/02/2012	Durée des travaux	24 mois
-----------------------------------	------------	--------------------------	---------

Recherche industrielle	Développement expérimental	Justification de la classification du projet
70%	30%	

Société porteuse du projet	
Nom	Prolann SRMP
SIREN	315013102

Porteur et partenaires éventuels	Type	Date	Signature
Porteur	PME	30/11/2012	
CEA	LABO PUBLIC	30/11/2012	

1. Présentation synthétique du projet

1.1. Contexte et objectifs du projet

Le CEA développe depuis la fin des années 60 des technologies de détection dans le domaine de la mesure sismique et infrason. Historiquement, les premiers travaux sont menés dans le but de détecter et caractériser les explosions nucléaires aériennes. A la mise en place du traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE) à la fin des années 90, un réseau mondial de détection se met progressivement en place. Ce réseau comprendra à terme 60 stations infrasons, de 4 à 8 capteurs chacune, réparties sur toute la planète.

Les microbaromètres développés par le CEA/DASE, et fabriqués par PROLANN pour la partie mécanique, sont encore la référence mondiale du point de vue performance, en fiabilité et robustesse ainsi qu'en mesures BF. Après le MB 2000 qui a été largement diffusé mondialement dans le cadre de l'OTICE, le MB 2005 constitue la référence actuelle. Cependant leur **prix de vente** reste très élevé pour une utilisation scientifique.

Depuis la constitution du réseau TICE, de nombreux signaux ont été enregistrés, localisés et caractérisés, parmi ceux-ci de nombreux phénomènes naturels tels que les éruptions volcaniques, les entrées de météorites dans l'atmosphère, les orages atmosphériques, les phénomènes transitoires entre la haute atmosphère et l'ionosphère, les éclipses, etc....

Un projet 7^{ème} PCRD Infrastructure Studies, intitulé ARISE, lancé à l'initiative du CEA/DASE a débuté au 1^{er} janvier 2012. **Ce projet a pour but de montrer l'apport des ondes de gravité, bien détectées par les réseaux infrasons**, dans la compréhension de la **climatologie** en fonction des échanges entre l'atmosphère et la stratosphère. Un autre pan du projet s'intéresse aux infrasons pour la compréhension des événements naturels transitoires cités plus haut.

De ce fait, l'utilisation des microbaromètres va croître dans les années à venir et le **marché sera assez prometteur** à condition d'en **diminuer les coûts** tout en **améliorant encore les performances actuelles**.

De ce fait, les technologies infrasons ont démontré leur utilité duale entre les activités de Défense, pour la détection d'explosion et les activités civiles pour la compréhension de nombreux phénomènes naturels, dont la climatologie

Dans le cadre des évolutions des performances de ses capteurs géophysiques, le CEA a mis au point avec un partenaire industriel un transducteur optique de déplacement par interférométrie. Cette nouvelle brique technologique servira de base au projet que nous proposons.

Le projet présente une étude conjointe sur 24 mois permettant d'envisager les possibilités techniques de ce transducteur optique et d'évaluer les gains en performances comparativement aux dispositifs électriques traditionnels du type bobine-aimant, LVDT ou mesure capacitive. Ces recherches pourront voir leur application à terme, non seulement pour les **microbaromètres** mais aussi pour les

sismomètres. Le projet s'attachera essentiellement aux mesures en environnement réel pour l'évaluation et la validation du concept sur les microbaromètres qui sont très sensibles aux variations de température engendrant un bruit très basse fréquence.

1.2. Description du projet

Le but de ce projet de R&D est de proposer une **rupture technologique** (brevet en cours de rédaction) en terme de **transducteur** permettant de dépasser certaines des performances actuelles des microbaromètres large bande standards de type MB2005. **Les axes d'amélioration espérés sont la résolution, la bande passante et la dynamique.** Les applications possibles concernent la non-prolifération, la surveillance de l'environnement ou l'aide à la modélisation de l'atmosphère.

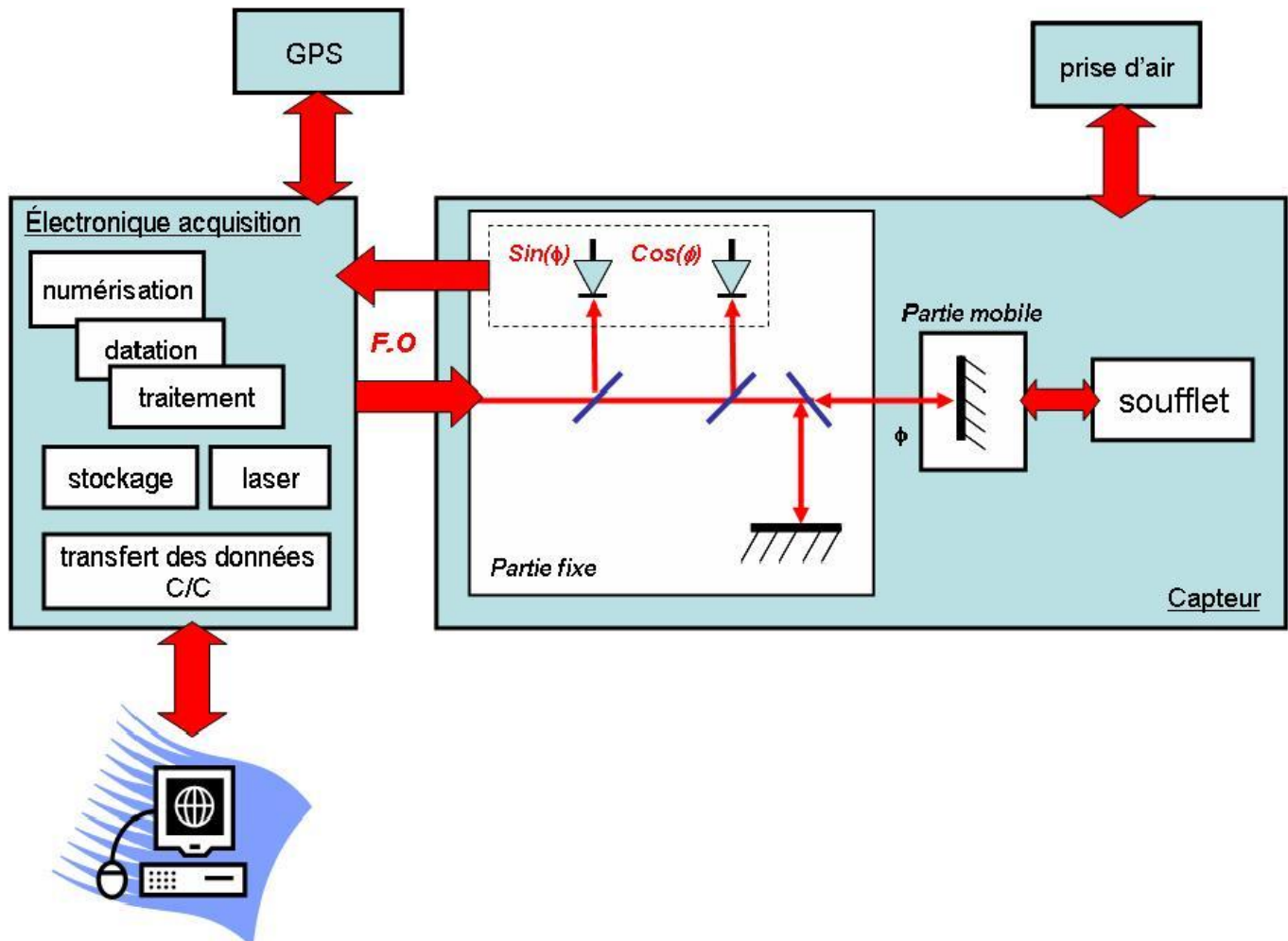
Pour cela, il est envisagé d'associer un soufflet de microbaromètre MB2005 avec un transducteur optique. Le soufflet est sensible à la pression tandis que le transducteur mesure les déplacements du soufflet directement représentatif des variations de pression.

Différents montages sont disponibles en interférométrie parmi lesquels on peut citer les montages de type Mach-zender, Fabry-Perrot ou Michelson.

Le CEA/DASE a entrepris depuis 2006 d'explorer les performances d'un interféromètre de Michelson pour des applications en géophysique. Le montage initial (maquette sur table) réalisé avec des composants optiques du commerce proposait une analyse en quadrature de phase pour améliorer la résolution du dispositif. Une voie d'analyse supplémentaire était disponible pour la correction des fluctuations de la source laser. Ce premier montage fonctionnait à la longueur d'onde de 635 nm dans le visible pour des facilités de réglage. Un second montage à 1550 nm a été réalisé dans la foulée pour bénéficier des composants télécom (prix réduit des composants, robustesse et durée de vie accrue). Ces études ont abouties à la réalisation d'un transducteur de déplacement optique sous forme de composant miniaturisé réalisé par la société TEEM Photonics sous licence CEA.

Les performances atteintes par ces dispositifs ont été très satisfaisants en termes de résolution et de dynamique. Nous avons par contre constaté une grande sensibilité vis-à-vis de la température de ce genre de montage.

Le projet consiste à définir le futur capteur à travers une étude de conception permettant d'assembler les différentes briques de base existantes, puis de réaliser un démonstrateur. L'électronique d'acquisition du signal est à prendre en considération ainsi que l'optimisation des traitements embarqués. Dans un premier temps une inter-comparaison sera menée entre un MB2005 standard constituant la référence actuelle dans le domaine de la mesure basse fréquence et un dispositif utilisant un interféromètre miniature. Après évaluation des performances, un concept de nouveau capteur sera proposé et prototypé.



2. Présentation générale du porteur et des partenaires

2.1. Présentation du porteur et des partenaires

PROLANN SRMP

Créé en 1974, et d'un effectif de 40 personnes pour un CA de près de 3 000 KE en 2011, Prolann est spécialisée en conception fabrication d'ensembles complets et semi-complets en mécanique de précision. Le bureau d'études assure le développement et la maintenance des sismomètres et microbaromètres du CEA depuis plus d'une vingtaine d'années et participe au développement et à la fabrication de capteurs marinisés pour le compte de grands groupes internationaux.

Son rôle est d'étudier, de modéliser, de concevoir le système d'interférométrie optique et de réaliser son intégration dans un microbaromètre. La fabrication de maquettes de test sera exécutée en interne.

LE CEA

Le CEA est un laboratoire public dont les activités de recherche sont internationalement reconnues dans une multitude de domaines. Entre autres, le

CEA/DAM/DASE détient une expertise reconnue dans l'instrumentation géophysique, et détient les technologies de base (mécanique, optique, électronique analogique et numérique, métrologie, traitement du signal...) utiles au projet.

Son rôle est de fournir son expertise sur les bancs de test et les technologies utilisées, d'assister durant les phases de validation des prototypes notamment lors de la comparaison des mesures obtenues par rapport à celles d'un MB 2005. A ce titre, le CEA mettra à disposition du projet les moyens matériels de type capteur MB2005 et calibre infrason.

2.2. Pertinence et qualité du partenariat

Prolann s'est spécialisé dans la fabrication de produits très techniques de petites et moyennes séries pour les secteurs d'activités tant civils que militaires. A ce titre, son process de fabrication respecte un ensemble de normes strictes (RG AERO 00084), 5S, engagement dans un processus de normalisation ISO 9001. Son équipement industriel (tours numériques et centres UGV dernière génération) ainsi que ses savoir-faire en assemblage électromécanique sont particulièrement adaptés à la phase développement puis à la fabrication des capteurs infrasons. Le bureau d'études intègre par le recrutement d'un Post doctorant des compétences en optique, et utilisera les moyens de l'association Photonics Bretagne (labo de test réalisation de fibres sur mesure...).

Le CEA fait profiter à Prolann de son expertise dans le domaine des capteurs infrason. Le CEA a toujours trouvé en cette dernière un sous-traitant efficace qui l'a aidé à faire d'énormes progrès dans la réalisation de ses capteurs sismologiques et infrasons. Il s'est établi au fur et à mesure une relation de confiance et un partenariat efficace grâce aux rapports excellents entre les bureaux d'études du CEA et de PROLANN, ce qui a permis de réaliser les capteurs actuels dont l'évolution des performances est due pour une grande part à la réalisation mécanique et au savoir-faire des hommes de l'art de la chaîne de fabrication. La reproductibilité des performances des capteurs est assurée par les processus d'assurance-qualité de PROLANN.

3. Qualité de l'innovation et progrès par rapport à l'état de l'art

3.1. État de l'art

Pour capter ces signaux acoustiques de très basse fréquence (< 20 Hz), le CEA a développé des capteurs appelés microbaromètres dont certaines caractéristiques n'ont pas d'équivalent aujourd'hui. Ce capteur, commercialisé sous la référence MB2005, équipe par exemple 60% des stations infrasons du réseau du TICE. Il est notamment réputé pour sa robustesse et la grande stabilité de sa réponse instrumentale notamment en ce qui concerne la phase de la fonction de transfert, point crucial pour la problématique de localisation et de détection des signaux d'intérêt.

Capteur destiné à la mesure de faibles pressions infrasonores se propageant dans l'atmosphère, ce type d'appareil utilise un système de mesure basé sur le déplacement d'un soufflet sous l'effet de la pression, mesuré par un transducteur de type LVDT. Le MB2005 tel qu'il est conçu aujourd'hui a atteint ses limites en termes de performances. En effet, aucune des briques de base qui le constitue ne peuvent permettre un gain significatif en sensibilité, en résolution et en dynamique.

L'introduction d'un système de mesure par transducteur optique **constituerait une réelle rupture technologique** dans ce domaine.

Ces produits trouvent 2 grands domaines d'application :

- vocation civile : climatologie, sismologie, phénomènes naturels transitoires tels que le volcanisme, les orages, les avalanches, ...
- vocation militaire : détection, localisation, caractérisation de tout type d'explosion, en particulier des essais nucléaires dans le cadre du TICE.

Concurrent actuel : Microbaromètre Chapparat 50, Capteur NCPA

3.2. Caractère innovant du projet

1. Les avantages techniques attendus

- Un système nécessitant peu de réglages à l'installation
- un système de mesure plus performant : résolution inférieure à 0.5 mPa/√Hz à 1 Hz
- une dynamique supérieure à 28 bits sur toute la bande de fréquence
- un élargissement de la bande spectrale utile de 0.001 à 40 Hz
- une facilité à installer des capteurs en réseau
- une possibilité de déport de la partie électronique sur de longues distances
- de faibles perturbations de la mesure à la plupart des facteurs environnementaux, y compris électromagnétiques.

2. Les avantages concurrentiels de la rupture

Les capteurs sismiques ou infrasons mis sur le marché sont de conception relativement traditionnelle en limite technologique, et nous observons des produits qui malgré leur succès incontesté ne répondront pas à tous les besoins des géophysiciens dans les prochaines années.

Envisager l'avenir de la mesure géophysique passe par le développement de nouveaux capteurs plus performants basés sur une technologie de transducteur optique. Cette phase de R&D est une étape indispensable dans notre développement commercial. Son succès nous permettrait de nous positionner rapidement sur la future gamme de produits de remplacement, et nous placerait dans une position de leader sur le marché du capteur, en particulier en infrasons.

De plus, les avantages technologiques de tels produits nous permettraient de nous positionner sur des secteurs d'activité plus larges (la recherche en milieu marin, la recherche de produits pétrolifères...)

3.3. Maîtrise des risques technologiques du projet

Le projet reste une action de R&D technologique qui présente des risques de non performances des résultats attendus.

La première étape d'adaptation du transducteur optique à un microbaromètre de référence ne présente pas de risque particulier. Il s'agit d'une adaptation mécanique à réaliser de façon la plus judicieuse possible afin d'obtenir les performances au moins égales au capteur de référence MB2005 équipé d'un transducteur LVDT. L'influence des variations de température sur la mesure de pression devrait être comparable entre les deux capteurs. Par contre, la dynamique du transducteur optique devrait accroître largement la dynamique de mesure et éviter des réglages en fonction de l'altitude du lieu.

La seconde étape consiste à introduire le transducteur optique au sein de la cellule barométrique afin d'éviter que les variations de température ne perturbent le signal, en particulier en très basse-fréquences. Cette étape n'est pas évidente du point de vue réalisation car la cellule doit rester sous vide malgré le passage des fibres optiques. La fixation du transducteur au sein de la cellule doit faire également l'objet d'un soin particulier afin de ne pas perturber la mesure. Il faut prendre en compte que la résolution d'un microbaromètre est de 0,01 Pa dans un environnement à 1 bar soit 10^5 Pa, soit un rapport de 10^{-7} .

Le composant optique reste le plus sensible du point de vue approvisionnement. Le CEA a cédé la licence à la Société TEEM Photonics afin que ce transducteur puisse avoir une large commercialisation et de ce fait, que l'on puisse maintenir sa production à moyen et long terme.

4. Adéquation avec les orientations technologiques de la défense

Les applications de l'écoute infrasons pour la Défense sont nombreuses. Elles ont fait l'objet des PEA IMAGIN 1 et 2 qui ont été confiés au CEA. Pour des raisons de discrétion, l'évaluateur peut se référer aux nombreux rapports qui ont été écrits par le CEA dans le cadre de ces PEA.

Le CEA utilise, entre autres, ces microbaromètres dans le cadre de la surveillance du traité de non-prolifération.

Les développements dans le cadre de ce projet répondent bien aux thèmes suivants du document « Politique et orientation scientifique de la DGA » :

Domaine 2 : Physique et mécanique des fluides - Mécanique des fluides :
aéroacoustique – signatures – réduction des signatures

Domaine 3 : Ondes - Propagation et détection acoustique

Domaine 9 : Environnement et géosciences : houle et modélisation des états de la mer.

5. Retombées économiques

5.1. Caractère stratégique du projet pour les partenaires

Prolann accompagne le CEA en études et co-design et en fourniture d'ensembles finis MB à vocation civile et défense. Pour rester compétitif et proposer des produits en adéquation avec la demande, il est indispensable de renforcer les compétences, de diversifier la présence sur les marchés, d'élargir les positions sur les secteurs d'activités et de s'ouvrir à l'international.

Maintien et renforcement des savoir-faire technologiques

Ce projet permet de renforcer significativement l'expertise du bureau d'études, en élargissant les connaissances techniques de son personnel (par recrutement d'un profil ingénieur mesures physiques et optique et par l'accompagnement du CEA qui assurent un transfert de connaissances vers Prolann).

Produits / Marchés

Le chiffre d'affaire est fortement généré par des produits à destination du secteur de la défense. Prolann souhaite prendre davantage de positions sur le marché civile et s'imposer sur le secteur de l'instrumentation géophysique et de la sous-traitance industrielle optique (secteur très actif sur Lannion et la Bretagne). Les objectifs sont donc de :

- Maintenir et renforcer la prestation d'études, d'industrialisation et de production à destination du CEA.
- A l'horizon 2015, élargir la gamme d'instrument de mesure en présentant sur le marché 2 nouvelles références de capteurs (sismiques et infrasons) optiques produits et commercialisés directement par Prolann, pour ainsi confirmer sa position sur le marché de l'instrumentation géophysique à destination des laboratoires.
- Prendre position comme sous-traitant (études et électromécanique) sur le secteur d'activité Optique

Synergie avec d'autres secteurs d'activités du Groupe Glémot

Exploitation et renforcement des compétences, savoir-faire, optimisation des ressources allouées aux services marketing et fonctions commerciales (notamment à l'export), et des fonctions de SAV. Le Groupe Glémot dispose de ressources sur ces fonctions, dédiées notamment à la commercialisation de produits propres en contrôle de données de systèmes monétiques. Augmenter le nombre de références de produits propres permettrait de renforcer les équipes, et l'efficacité des fonctions supports.

CEA :

Il s'agit de pérenniser le leader-ship du CEA sur les capteurs infrasons et le savoir-faire sur la fabrication de ces capteurs pour les besoins de la Défense et de l'OTICE. Une politique d'industrialisation et de commercialisation est en cours. D'autres capteurs américains apparaissent sur le marché, encore actuellement sous forme de prototypes, mais on peut penser que leur commercialisation sera moins chère que les MB 2005. Les applications scientifiques et civiles, issues du projet européen ARISE, couvrent une large bande spectrale. Les microbaromètres, issus de ce projet, répondront à ces nouveaux besoins.

5.2. Perspectives d'applications civiles et militaires

Cf point 4 et 5,1 du dossier

5.3. Perspectives d'industrialisation, de normalisation et de brevets

A ce jour, aucune norme n'existe autour de la mesure des infrasons. Les quelques laboratoires qui travaillent dans ce domaine cherchent des moyens de normalisation plus universels. Pour aller dans ce sens, l'AFNOR conduit depuis un an environ un groupe de travail normatif sur la thématique mesure infrason, groupe F30JIF. Le CEA participe à ce groupe de travail, et de ce fait, met à jour vis-à-vis de ces travaux tous ses développements autour des capteurs infrasons. Ce besoin est d'autant plus grand que l'installation d'éoliennes génératrices d'infrasons, d'autant plus basses fréquences que les pales sont grandes (60m de rayon pour les futures génératrices de 5MW).

5.4. Perspectives de chiffre d'affaires

Les projets susceptibles d'exploiter l'infrason

Outre le marché de la Défense qui représentera à terme une centaine de microbaromètres, on peut mentionner les autres marchés existants et à venir en infrasons :

OTICE : dans le monde : 60 stations infrason équipées en un réseau de 4 à 8 appareils de mesure distants de 1 à 3 km (potentiel de 240 à 480 capteurs)

Si les résultats des tests des versions optiques de ces outillages vont dans le sens de plus de vélocité de dynamique et d'élargissement de la bande, nous pouvons penser que les appareils seraient au fur et à mesure de leur maintenance remplacés par d'autres en version optique, on peut tout autant penser que des stations tests pourraient être assemblées en équipement optique.

Post-ARISE : Après le projet européen 7ème PCRD ARISE qui est un projet Infrastructure Design, il sera proposé un autre projet d'infrastructure européenne de réseaux infrasons qui devrait comprendre de 10 à 20 stations équipées de 1 à 4 microbaromètres.

On notera également que si les performances souhaitées sont obtenues dans le cadre des microbaromètres, nous développerons également les sismomètres avec le même transducteur optique, ce qui ouvre les perspectives dans le cadre des domaines suivants

Recherche de gisements dans le domaine pétrolifère

Potentiel à étudier en recherche de gisements exploitables en fracturation hydraulique (mesure des ondes sur 3 axes générées par ce type de forage).

Recherches fondamentales, risques et ressources naturelles

RESIF : 517 stations / s'intègrent aux dispositifs européens et mondiaux d'instruments permettant d'imager l'intérieur de la terre dans sa globalité. Pour atteindre ce marché, il faut à la fois un souhait de compléter les stations existantes de capteurs infrasons et assurer la mise au point, en parallèle du microbaromètre, d'un sismomètre optique large bande 3 axes, de manière à pénétrer le marché avec une gamme solide de produits optiques.

Enjeux : présenter une offre de 2 produits complémentaires techniquement homogènes, innovants, fiables, performants à moindre coût (pour servir les besoins des laboratoires d'études et société de prospection géophysique).

Chiffre d'affaires direct et indirect généré par les études R&D du Microbaromètre optique

CA	2012	2013	2014	2015	2016
MB Optic	0	0	84000	112000	159000
LB 903A optic			45000	150000	150000
Autres			550000	550000	550000

A terme, ventes au maximum de 50 MB optic / an, 100 LB90 3 axes optic /an (large bande 3 axes)

5.5. Perspectives de création d'emplois

Pendant la phase d'études

Prolann : Au bureau d'études : 1 ingénieur mesure physique et optronique et 1 responsable de projet études ; A la fabrication : 1 ETP opérateur sur 3 mois.

CEA : 1 ingénieur en instrumentation mesure physique et technique optique 24 mois.

Après la phase d'études

La mise sur le marché du produit, en cas de succès nécessitera la mise en place d'une équipe marketing et commerciale : 1 ETP, et la création d'une ligne de production dédiée aux produits mécaniques avec intégration électronique et optique : 3 ETP.

5.6. Perspectives de dépôt de brevets

Deux brevets sont en cours de rédaction par le CEA sur les microbaromètres optiques dont la conception et les maquettes sont les connaissances antérieures du CEA.

Les brevets futurs, qui pourraient être déposés, porteraient essentiellement sur des techniques de réalisation, en particulier pour la réalisation de la cellule de pression avec transducteur optique intégré ou sur le passage étanche des fibres.

6. Incitativité de l'aide

Au vue de la durée du programme - 24 mois -, de l'étendue des compétences humaines mobilisées (Ingénierie en mesure physique, optique, électronique, mécanique), aucun des partenaires ne pourrait mobiliser rapidement la main d'œuvre et le budget de sous-traitance et acquisition) sur un projet dont les retombées économiques s'envisagent à 36 mois.

Création rapide de synergies

Le dispositif Rapid renforce l'intérêt d'un co-développement en partenariat, accélère la création de synergie en permettant une mobilisation plus complète et plus rapide des acteurs dans le projet. L'équipe ainsi constituée pourra étendre son travail de R&D à d'autres projets dans des familles de produits similaires.

Mise en cohérence d'objectifs divergents

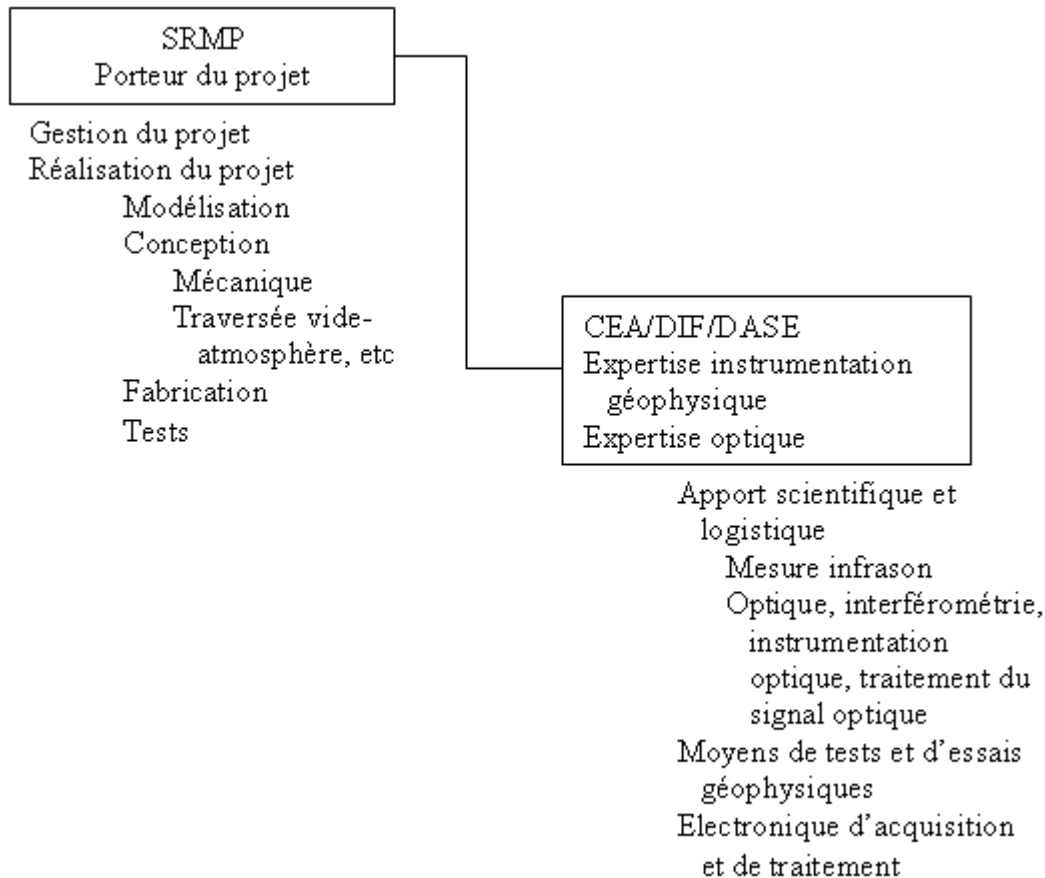
Ce projet mobilise des acteurs de statuts très différents, les attentes vis-à-vis des résultats des études sont différentes, sans un dispositif Rapid il aurait été difficile de rassembler.

Soutien d'un partenariat français

Soutenir ce projet par un dispositif Rapid permettra de présenter sur le marché l'unique produit optique français en mesure infrason, s'il existe quelques produits numériques sur le marché (Microbaromètre Chapparat 50, Capteur NCPA), seul le MB2005 est français, et aucune version optique n'est à ce jour identifiée.

7. Structuration du projet

7.1. Organisation du projet



7.2. Accord entre les partenaires

Nous rédigerons un accord de consortium entre les trois partenaires pour définir en particulier les termes de propriété intellectuelle ; connaissances antérieures, résultats propres, résultats communs

7.3. Cohérence du projet

L'objectif du projet est de réaliser des prototypes de microbaromètres optiques afin d'améliorer les performances des capteurs infrasons existants, et de proposer à termes sur le marché un capteur plus performant en termes de bande passante, de résolution et de dynamique.

Ce projet est prévu en deux parties : tout d'abord un prototype utilisant des éléments connus, et en second, un prototype permettant d'aller plus loin dans les performances, mais avec un risque plus élevé.

Pour cela, il est nécessaire de débiter par une modélisation complète du capteur, depuis la réponse acoustique de sa mécanique, jusqu'à la mesure numérisée du signal. Ceci permettra d'étudier théoriquement la réponse du futur capteur, ainsi que l'influence des perturbateurs extérieurs. Le post-doc devra au cours de cette partie prendre en main l'expertise du CEA dans le domaine de la mesure infrason et optique.

Cette modélisation est le point de départ pour une conception d'un premier prototype, dont la nouveauté résidera dans le remplacement du transducteur LVDT actuel par un transducteur optique. Ce premier prototype ne posera pas de difficulté majeure du fait que chaque brique élémentaire qui le compose est déjà connue. La caractérisation de ce premier prototype sera mise en parallèle avec les résultats de la modélisation.

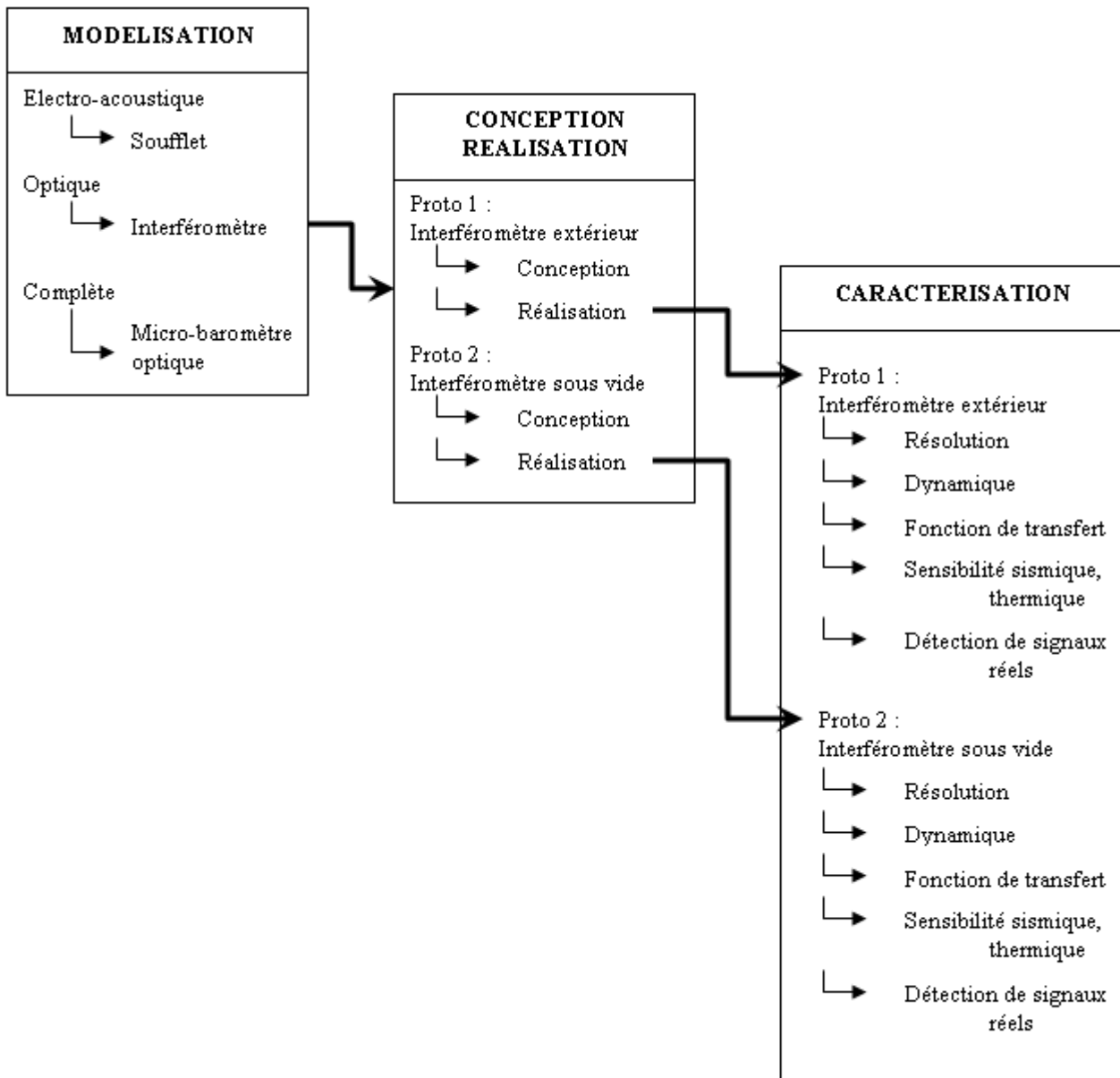
Le second prototype devra permettre d'aller plus loin dans les performances attendues du capteur. La mise sous vide du transducteur optique apportera une amélioration de la réponse de l'instrumentation, surtout vis-à-vis des perturbateurs extérieurs (température, humidité, etc). Cette conception passera par une re-conception du soufflet qui demande une expertise particulière, et donc un temps d'étude plus important. Là aussi, la caractérisation sera mise en parallèle avec la modélisation effectuée en début de projet.

7.4. Découpage du projet

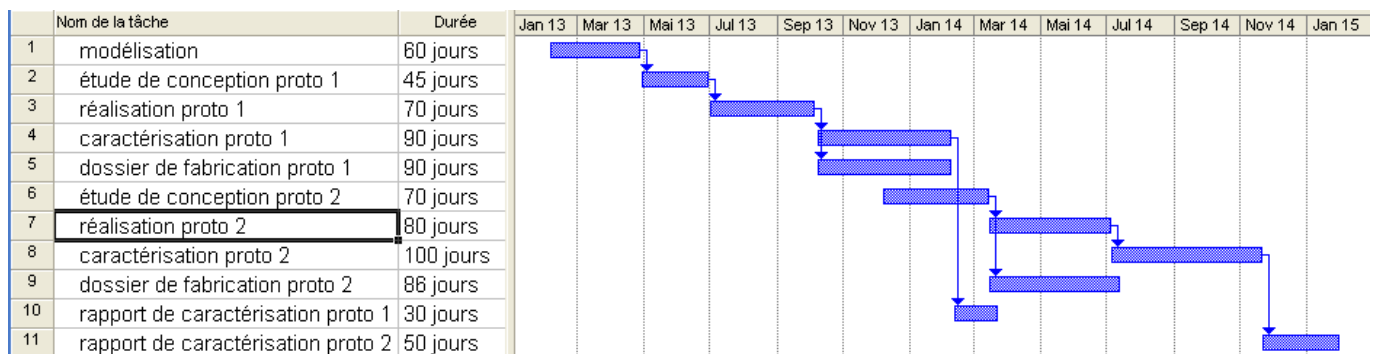
Le projet est décomposé en 3 lots présentés dans le tableau ci-dessous.

Lot	Intitulé	Acteurs impliqués
1	Modélisation	SRMP, CEA
2	Conception, Réalisation	SRMP, CEA
3	Caractérisation	SRMP, CEA

7.5. Logique de déroulement du projet



7.6. Planning prévisionnel



7.7. Résultats attendus

Lot	Résultats attendus (maquette, démonstrateur, documents, etc)	Responsables	Délais
1	Rapport de modélisation électro-acoustique	Ingénieur opto-électronique (SRMP), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	1,5 m
	Rapport de modélisation optique : influence de l'environnement sur la mesure	Ingénieur opto-électronique (SRMP), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	1 m
	Rapport de modélisation final	Ingénieur opto-électronique (SRMP), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	0.5 m
2	étude de conception détaillée Proto1	Ingénieur opto-électronique (SRMP), ingénieur mécanique (SRMP), technicien R&D (SRMP), CDD instrumentation mesure (CEA), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	2 m
	dossier de fabrication		4 m
	Réalisation de 2 x Proto1	Opérateurs (SRMP)	3 m
	Étude de conception détaillée Proto2	Ingénieur opto-électronique (SRMP), ingénieur mécanique (SRMP), technicien R&D (SRMP), CDD	3 m

	Dossier de fabrication	instrumentation mesure (CEA), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	4 m
	Réalisation de 2 x Proto2	Opérateurs (SRMP)	3.5 m
3	Caractérisation du Proto1 Rapport de caractérisation proto 1	Ingénieur opto- électronique (SRMP), ingénieur mécanique (SRMP), CDD instrumentation mesure (CEA), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	4 m 1 m
	Caractérisation du Proto2 Rapport de caractérisation proto 2	Ingénieur mécanique (SRMP), CDD instrumentation mesure (CEA), ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)	4.5 m 2 m

8. Détail des travaux et dépenses prévisionnelles par lot

8.1. Lot 1 : Modélisation

Début	T0	Fin	T0 + 3 m	Coût total	47 544 €
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Comprendre finement le fonctionnement du futur micro-baromètre optique, et mettre en évidence les paramètres d'influences environnementales d'une manière théorique 				
Tâches	<ul style="list-style-type: none"> Modélisation électro-acoustique (équivalence acoustique - électrique) Modélisation optique Modélisation complète du capteur 				
Résultats attendus	<ul style="list-style-type: none"> Calcul de la fonction de transfert du soufflet Calcul de la fonction de transfert de l'interféromètre Évaluation théorique des effets de l'environnement (température, vibration, etc) sur ces deux parties Évaluation théorique de l'influence des performances de la source laser sur les performances globales Calcul de la fonction de transfert du capteur complet Évaluation théorique des effets de l'environnement sur la mesure 				
	Prolann		CEA		
Coûts de personnels (€HT)	41 244 €		280 h ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien)		
Coûts de sous-traitance (€HT)					
Coûts de frais de Missions (€HT)	4 950 €		1 350€		
Coût d'achat et autres coûts (€HT)					

où T0 représente la date de démarrage des travaux

8.2. Lot 2 : Conception - Réalisation

Début	T0 + 3 m	Fin	T0 + 24 m	Coût total	418 956.62 €
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Concevoir et réaliser autant de prototypes que nécessaire pour caractériser le capteur 				
Tâches	<ul style="list-style-type: none"> Conception du micro-baromètre optique, interféromètre externe Fabrication de 2 prototypes de micro-baromètre optique, interféromètre externe, fabrication de 4 prototypes d'électronique intégrée d'acquisition et de traitement Conception du micro-baromètre optique, interféromètre sous vide Fabrication de 2 prototypes de micro-baromètre optique, interféromètre sous vide 				
Résultats attendus	<ul style="list-style-type: none"> 2 dossiers de conception : 1 par type de prototype Prototypes fabriqués 2 dossiers de fabrication : 1 par type de prototype 				
	SRMP		CEA		
Coûts de personnels (€HT)	196 588 €		70h ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien) 57 834€ (coûts directs 1han CDD)		
Coûts de sous-traitance (€HT)	29 866 €		48 600 €		
Coûts de frais de Missions (€HT)	2 740 €		3 574.80 €		
Coût d'achat et autres coûts (€HT)	79 753,82 €				

8.3. Lot 3 : Caractérisation

Début	T0 + 6 m	Fin	T0 + 24 m	Coût total	174 331.6 €
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> Caractériser et valider le fonctionnement du micro-baromètre optique 				
Tâches	<ul style="list-style-type: none"> Mesure du bruit intrinsèque de chaque prototype intégré avec son électronique d'acquisition et de traitement Comparaison du bruit intrinsèque avec celui des capteurs actuels Mesure de la fonction de transfert du capteur complet, comparaison avec la fonction de transfert théorique Mesure de dynamique, et comparaison avec les capteurs actuels Mesure sur le terrain en parallèle avec une chaîne d'acquisition actuelle Traitement des signaux obtenus, et comparaison avec les signaux des capteurs actuels 				
Résultats attendus	<ul style="list-style-type: none"> Bruit intrinsèque plus faible, dynamique plus grande, élargissement de la bande fréquentielle de mesure Détection et caractérisation de signaux réels 2 rapports de tests, 1 par type de capteur 				
	SRMP		CEA		
Coûts de personnels (€HT)	137 480 €		70h ingénieur-chercheur catégorie 2 (personnel statutaire CEA hors financement, en soutien) 29 181.60 € (Coûts directs 0,5 han CDD mesures physiques)		
Coûts de sous-traitance (€HT)					
Coûts de frais de Missions (€HT)	6 320 €		1 350 €		
Coût d'achat et autres coûts (€HT)					

9. Répartition des dépenses prévisionnelles par année

	SRMP	CEA	
Année 1 en € HT	298 969.48 €	82 706€	
Année 1 en %	59.92%	58,29%	
Année 2 en € HT	199 972.34 €	59 184.44 €	