

DÉLIBÉRATION N°2023-24_002
du Conseil d'administration de l'université de Franche-Comté

Séance en date du 15 septembre 2023

3 – Affaires financières

Point n° 3.1 « Validation Programme et Équipement Prioritaires de Recherche (PEPR) électronique NanoFILN »

La délibération étant présentée pour décision

Effectif statutaire : 36 Membres en exercice : 35 Quorum : 17	Refus de vote : 1 Abstention(s) : 0
Membres présents : 19 Membres représentés : 5 Total : 24	Suffrages exprimés : 23 Pour : 22 Contre : 1

VU le code de l'éducation en particulier son article L. 712-3 ;
VU les statuts de l'université de Franche-Comté, et en particulier son article 30.

Le projet a pour objectif de mettre en place une filière nationale académique pour les composants en optique intégrée de nouvelle génération basés sur l'utilisation de films de LiNbO₃.

Les nanoguides au cœur de ces composants photoniques à hautes performances ouvrent la voie à la réalisation de puces intégrant des fonctions multiples avec des applications clés pour l'optoélectronique et l'optique quantique. Cette filière se base sur les compétences existantes au sein du réseau RENATECH. Afin de mettre en place cette filière, deux familles de démonstrateur qui tirent parti de propriétés remarquables du LiNbO₃ sont identifiées. La première exploite l'effet électro-optique (modulateur/switch) et la seconde est basée sur l'effet non linéaire (générateur de photons jumeaux). L'intégration de fonctions multiples sur puce monolithique ainsi que l'hybridation avec d'autres plateformes sont également ciblées.

Ces réalisations permettront de valider l'ensemble des étapes technologiques nécessaires à ces démonstrateurs. Les résultats du projet ouvriront sur la mise en place d'un ensemble de briques technologiques, disponibles pour l'ensemble des académiques français, pour la réalisation et la structuration de films minces (de 100 nm à qqs μm) de LiNbO₃ sur substrat porteur silicium.

Afin de permettre à tous de concevoir de tels composants, le champ des possibles des caractéristiques technologiques seront accessibles via le réseau RENATECH.

Durée du projet : 48 mois

Établissement coordinateur : Université de Franche-Comté

Concernant le volet général (onglet 2 « VoletGénéral » du fichier Excel en annexe) :

- Subvention ANR demandée pour tout le consortium : 2 943 895 € HT
- Coût total : 5 234 936 € HT

Concernant le volet propre à l'université de Franche-Comté (onglet 3 « Part1-Coord » du fichier Excel en annexe) :

- Subvention ANR demandée pour l'uFC : 1 320 600 € HT
- Coût total : 2 198 850 € HT

Les membres présents et représentés du Conseil d'administration autorisent la Présidente de l'université à signer les demandes d'aides mentionnées aux onglets 2 et 3 du fichier Excel annexé afin de finaliser le dépôt du projet NanoFiLN, à l'appel PEPR Électronique.



Besançon, le 18 septembre 2023
Pour la présidente et par délégation
Le directeur général des services

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Thierry Camus", is written over a horizontal line.

Thierry CAMUS

Annexes / pièces jointes :

Annexe 3.1.1 Fiche scientifique - France2030-aap-pepr-electronique-2023-projet-Scientifique-NanoFiLN

Annexe 3.1.2 Tableau détaillé - France2030-aap-pepr-electronique-2023-projet-Scientifique-NanoFiLN

Délibération transmise à la Rectrice de la région académique Bourgogne-Franche-Comté, Rectrice de l'académie de Besançon, Chancelière des universités

Délibération publiée sur le site internet de l'Université de Franche-Comté





Acronyme	NanoFiLN		
Titre du projet en français	<i>Nanophotonique sur films de LiNBO₃</i>		
Mots-clefs			
Axe	<input type="checkbox"/> Axe 1 : La perception numérique <input checked="" type="checkbox"/> Axe 2 : L'électronique pour la conversion <input checked="" type="checkbox"/> Axe 3 : Les composants pour les télécommunications <input type="checkbox"/> Axe 4 : L'électronique pour le calcul		
Établissement coordinateur	Université de Franche-Comté		
Responsable du projet	Prénom, Nom, Qualité		
	Mathieu Chauvet, Professeur		
	Courriel	Téléphone	
	mathieu.chauvet@univ-fcomte.fr	0381666409	
Durée du projet	48 mois		
Aide totale demandée	2.945 k€	Coût complet	4.991 k€

Liste des établissements du consortium :

Établissements d'enseignement supérieur et de recherche	Secteur(s) d'activité
Université de Franche-Comté	

Organismes de recherche	Secteur(s) d'activité
CNRS	
CEA	

Autres partenaires	Secteur(s) d'activité

Liste des unités de recherche impliquées :

Unités de recherche	Établissement de tutelle
Institut FEMTO-ST (UMR CNRS N° 6174), RNSR :200412232H	CNRS, Université de Franche-Comté, SUPMICROTECH-ENSMM, UTBM, UBFC



<i>Laboratoire LAAS (UPR CNRS N° 8001), RNSR : 199517454Y</i>	<i>CNRS</i>
<i>Institut INPHYNI (UMR CNRS N° 7010), RNSR : 201722398B</i>	<i>CNRS, Université Côte d'Azur</i>
<i>Laboratoire C2N (UMR CNRS N° 9001), RNSR : 201622200R</i>	<i>CNRS, Université Paris-Saclay</i>
<i>CEA-LETI Grenoble, RNSR : 196718590E</i>	<i>CEA</i>

Résumé du projet en français (Non Confidentiel – 4000 caractères maximum, espaces inclus)

Le projet a pour objectif de mettre en place une filière nationale académique pour les composants en optique intégrée de nouvelle génération basés sur l'utilisation de films de LiNbO_3 . Les nanoguides au cœur de ces composants photoniques à hautes performances ouvrent la voie à la réalisation de puces intégrant des fonctions multiples avec des applications clefs pour l'optoélectronique et l'optique quantique. Cette filière se base sur les compétences existantes au sein du réseau RENATECH. Afin de mettre en place cette filière, deux familles de démonstrateur qui tirent parti de propriétés remarquables du LiNbO_3 sont identifiées. La première exploite l'effet électro-optique (modulateur/switch) et la seconde est basée sur l'effet nonlinéaire (générateur de photons jumeaux). L'intégration de fonctions multiples sur puce monolithique ainsi que l'hybridation avec d'autres plateformes sont également ciblées. Ces réalisations permettront de valider l'ensemble des étapes technologiques nécessaires à ces démonstrateurs. Les résultats du projet ouvriront sur la mise en place d'un ensemble de briques technologiques, disponibles pour l'ensemble des académiques français, pour la réalisation et la structuration de films minces (de 100 nm à qqs μm) de LiNbO_3 sur substrat porteur silicium. Afin de permettre à tous de concevoir de tels composants, le champ des possibles des caractéristiques technologiques seront accessibles via le réseau RENATECH.



Table des matières

Table des matières	3
1. Contexte, objectifs et réalisations antérieures.....	4
1.1. Contexte, objectifs et caractère innovant du projet.....	4
1.1.1 Contexte du projet.....	4
1.1.2 Objectif du projet	4
1.1.3 Caractère innovant du projet.....	5
1.2. Principales réalisations antérieures.....	5
1.2.1 Composants photoniques.....	5
1.2.2 La technologie LN	6
2. Description détaillée du projet	8
2.1. Description du projet, stratégie scientifique	8
2.2. Présentation scientifique et technique du projet.....	9
2.2.1 Objectifs scientifiques.....	9
2.2.2 Résultats attendus, implications des partenaires	12
2.3. Déroulement, indicateurs et jalons	15
3. Organisation et pilotage du projet.....	17
3.1. Responsables du projet	17
3.2. Organisation du partenariat	17
3.3. Pilotage	18
3.4. Stratégie des établissements.....	18
4. Impact et retombées du projet.....	19
5. Justification des moyens demandés	20
6. Références bibliographiques citées	20



1. Contexte, objectifs et réalisations antérieures

1.1. Contexte, objectifs et caractère innovant du projet

1.1.1 Contexte du projet

Les développements de composants pour le traitement de l'information ont pour objectif une miniaturisation toujours plus poussée afin d'augmenter les capacités des circuits tout en réduisant les coûts et en minimisant les impacts environnementaux. Dans ce cadre, l'avancée de la microélectronique sur silicium est particulièrement spectaculaire avec pléthores d'applications. La photonique intégrée, qui poursuit le même but pour le traitement de signaux optiques, apporte des solutions complémentaires à l'électronique tout en offrant une alternative à certaines limitations (puissance, débit, résilience...) du tout-électronique. La photonique intégrée sur silicium a ainsi naturellement bénéficié de la technologie mature de l'électronique mais ce matériau n'est cependant pas idéal en photoniques en raison d'une structure de bandes électroniques indirecte et d'une maille cristalline centrosymétrique. En effet, ces propriétés intrinsèques empêchent ou limitent le développement de certaines fonctions clefs pour lesquelles des matériaux tels que les semi-conducteurs III/V ou le niobate de lithium (LiNbO_3 -LN) sont particulièrement adaptés.

Le LN cristallin est en particulier un acteur majeur de la photonique intégrée. L'intérêt discriminant de ce matériau vient de ses propriétés non linéaires du second ordre qui sont à la base des modulateurs et autres convertisseurs de fréquences utilisables sur toute la bande de transparence du matériau (0,4 μm - 5 μm). Par ailleurs, les guides d'ondes LN sont connus pour leurs faibles pertes de propagation ce qui en fait une plateforme de choix pour la fabrication de dispositifs photoniques intégrés pour des applications d'information quantique et classique [1, 2].

Ce matériau a vu son intérêt renforcé avec l'avènement des films minces de LN. En effet, ces films représentent une rupture technologique à plus d'un titre.

Tout d'abord, ils offrent des réponses à la demande grandissante en bande passante pour les télécommunications et ouvre également la voie à un traitement non linéaire de signaux basse puissance comme pour le domaine du quantique. Ainsi, des composants optiques aux performances décuplées à base de films LN sur isolant (LNOI, Lithium Niobate On Insulator) ont été démontrés récemment pour la réalisation de sources quantiques, de convertisseurs de fréquences à rendement record ou encore de modulateurs très large bande et à très faible tension de commande [3, 4, 5]. La métrologie n'est pas en reste avec des applications en optique comme la génération de peignes de fréquence [6] ou de supercontinuum [7].

Par ailleurs, cet intérêt est décuplé en raison du potentiel du LNOI pour le développement de circuits photoniques fortement intégrés [8, 9]. Cette plateforme offre donc des perspectives sans précédent en termes d'évolutivité et de performances grâce à une densification des composants comme démontré jusqu'à présent sur silicium.

Enfin, l'hybridation de ces composants LN avec d'autres plateformes optoélectroniques augmente plus encore leur potentiel. Par exemple, des puces hybrides qui associent les avantages du silicium avec les atouts du LN commencent à émerger dans les laboratoires [10].

1.1.2 Objectif du projet

Dans ce contexte, le **consortium constitué de cinq laboratoires**, l'institut FEMTO-ST à Besançon, le LAAS à Toulouse, l'INPHYNI à Nice, le C2N à Palaiseau et le CEA-Leti à Grenoble, joignent leurs forces **pour faire émerger une filière nationale d'excellence en optique intégrée LN à fort potentiel industriel**. Dans une première phase, l'objectif est de mettre à disposition de l'ensemble des acteurs académiques français cette filière technologique.

En plus de maîtriser l'ensemble des étapes qui mènent à la fabrication de composants et puces à base nanoguides en LN, **l'ambition est d'atteindre une souveraineté nationale non seulement sur les étapes technologiques clefs pour cette filière en plein essor**, mais également sur l'approvisionnement de films LN aujourd'hui uniquement disponible chez des fournisseurs chinois.



Pour atteindre cet objectif, le consortium cible **deux familles de dispositifs emblématiques du potentiel du LNOI**, l'une tirant partie de l'effet électro-optique (**modulateur/switch**) et l'autre de l'effet nonlinéaire du second ordre (**convertisseur de fréquences/générateur de photons intriqués**). Les différentes étapes de fabrication que sont l'élaboration des films minces, la gravure des nanoguides, l'inversion périodique des domaines seront tout d'abord optimisées avant leur mise en œuvre pour l'élaboration des deux cibles. A terme, l'intégration de plusieurs fonctions sur une même puce ainsi que l'hybridation de ces fonctions avec d'autres plateformes sont envisagées.

Ces composants passifs et actifs d'intérêt direct pour les télécommunications **répondent à la problématique de l'axe thématique 3 du PEPR électronique**. Le LN, matériau ferroélectrique au cœur de ce projet, vient enrichir les performances des semiconducteurs exploités dans les projets ciblés. **La conversion de fréquence est également abordée en lien direct avec la thématique 2 du PEPR électronique**.

1.1.3 Caractère innovant du projet

Le projet va fédérer plusieurs équipes françaises sur la technologie de rupture des films de LN et permettra ainsi de développer un savoir-faire unique sur l'intégralité de la chaîne de fabrication de dispositifs photoniques. L'un des points forts de l'approche proposée est de s'appuyer sur trois méthodes complémentaires d'élaboration des films de LN : la découpe ionique, le report-amincissement et l'épitaxie. L'accès simultanés à ces trois approches est unique au niveau mondial. Ainsi la gamme d'épaisseurs (100nm-qqs μm), les compositions (congruente, stœchiométrique, dopée) et les orientations cristallines possibles (X, Z) des films LN permettent d'envisager des dispositifs qui dépassent l'état de l'art tout en se démarquant des laboratoires internationaux les plus avancées sur ce thème.

Enfin, les deux applications cibles concernent le domaine de l'optique quantique et des télécoms, mais il est évident que le savoir-faire développé sera aisément transposable à d'autres domaines (analyses environnementales, traitement du signal, ...).

1.2. Principales réalisations antérieures

Les activités et le savoir-faire du consortium dans le domaine de la photonique intégrée LN et des technologies de fabrication associées sont décrites ci-après.

1.2.1 Composants photoniques

Les développements en photonique basés sur la plateforme LN réalisés au sein de l'institut FEMTO-ST sont nombreux. Ils s'appuient sur un savoir-faire technologique acquis de longue date au travers de la plateforme RENATECH. En ce qui concerne les activités sur les films de LN, les premiers travaux ont débuté il y a une quinzaine d'années avec la fabrication de cristaux photoniques mettant en évidence une exaltation de propriétés du LN [11, 12]. Ces travaux ont ouvert la voie à la démonstration de modulateurs ultracompacts [13]. Des films LN réalisés en interne par report-amincissement et sciage de précision ont également été exploités. Ainsi des membranes de LN nanostructurées exhibent d'excellentes performances pour le domaine des capteurs [14]. En parallèle, cette technique d'élaboration des films de LN a été appliquée pour de la conversion de fréquences avec des forts rendements de conversion dans des guides ridges périodiquement inversés. Ces guides nonlinéaires sont ainsi appliqués pour du doublage de fréquences (SHG) de sources télécoms afin d'effectuer le refroidissement d'atomes [15] ou encore pour la détection de photons en infrarouge moyen par somme de fréquence [16].

L'équipe d'INPHYNI a une grande expérience sur l'élaboration de guides d'ondes LN par échange protonique et la mise en séquence de plusieurs fonctions (conversion de fréquence, routage passif et/ou dynamique), avec de nombreuses applications dédiées à l'information quantique [1]. Les démonstrateurs couvrent aussi bien les générateurs de lumière quantiques [17, 18, 19, 20] que des circuits plus complexes capables de générer et manipuler des états photoniques, comme par exemple la combinaison d'un générateur d'états comprimés de lumière [20], ou encore un générateur d'états à plusieurs photons reconfigurable dynamiquement [21]. Grâce à leur expérience

clef sur ces composants, les dispositifs LN à base de films ouvriront la voie à du traitement non linéaire basse puissance ainsi qu'à des dispositifs à grand nombre de photons.

De son côté, le LAAS a engagé des travaux sur la photonique sur LNOI depuis 2018. Les études portent en particulier sur des filtres à réseau en cavité accordables électriquement, appelés CRIGF (pour Cavity-Resonant Integrated-Grating Filters). Ces filtres sont utilisés comme convertisseurs de fréquences [22] ou intégrés au sein de diodes lasers à cavité externe. Les procédés et étapes technologiques pour réaliser ces réseaux et guides d'onde LN seront adaptés aux applications du projet NanoFiLN. Par ailleurs, l'équipe a aussi développée des résonateurs à modes de galerie en technologie GaAs [23] qui sont des structures d'intérêt pour le présent projet. Enfin, des tests préliminaires de gravure sèche du LN à l'aide de masques diélectriques et résines dures développées ont débuté [24]. Ces techniques sont complémentaires des stratégies de masquage étudiées à l'Institut FEMTO ST.

Les membres du CEA impliqués dans le projet ont un savoir-faire reconnu dans l'élaboration de films de LN par la technique de découpe ionique. Leur contribution dans le domaine de la photonique LNOI est illustrée par les résultats remarquables du projet européen ELENA [25, 26].

Pour terminer, le laboratoire C2N développe des dispositifs en optique intégrée sur plateforme silicium mais également à base de III-V. Cette expérience est cruciale pour l'hybridation envisagée de composants LN avec d'autres plateformes.

1.2.2 La technologie LN

Les principales étapes technologiques pour l'élaboration des composants visés dans le projet consistent en l'élaboration des films minces de LN, leur structuration en circuit et la mise en forme de domaines (retournement de la maille cristalline : poling périodique). Les travaux passés du consortium en lien avec ces étapes ainsi que des savoir-faire utiles au projets sont décrits ci-dessous.

Les films minces de LiNbO₃

Le savoir-faire du consortium a d'ores et déjà acquis **une bonne maturité dans l'élaboration de films par la méthode de report-amincissement, par croissance et également par découpe ionique (technologie Smart-Cut®). La disponibilité de ces trois technologies est tout à fait unique.** La capacité à réaliser de tels empilements de films minces par des équipes françaises apporte une **souveraineté nationale sur ces étapes technologiques** fondamentales. Cela permet en outre d'envisager à terme une gamme étendue de dispositifs et **ouvre la voie à des démonstrations de rupture.** Le projet va permettre une adaptation et une amélioration des procédés de fabrication ainsi qu'une évaluation du potentiel de chacune des technologies mises en œuvre.

L'épitaxie

Dans l'état de l'art, la réalisation de films LN de haute qualité par croissance cristalline avec des propriétés physiques reproductibles est compliquée en raison de la difficulté de contrôler l'incorporation de Li₂O volatil. La production à grande échelle de films aux propriétés physiques adaptées n'est pas encore disponible. A FEMTO-ST, des films de LN avec stœchiométrie de Li₂O contrôlée sont réalisés par dépôt en phase vapeur à injection pulsée de liquide (DLI-CVD). La capacité à contrôler la composition a été considérablement améliorée comme le montre la Figure 1 [27]. La croissance

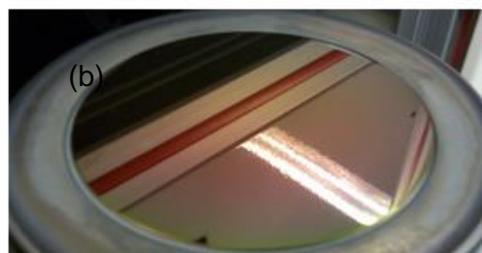
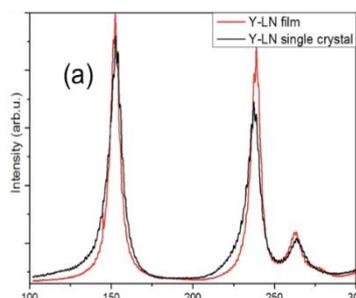


Figure 1: (a) Comparaison des spectres Raman de films de LN entre de composition quasi-stœchiométrique et un monocristal congruent. (b) Photographie d'un film

épitaxiée a été optimisée pour différentes orientations cristallines dont celles nécessaires en optique (X et Z). On notera que ces films ont permis de réaliser des dispositifs d'ondes de surface (SAW) et de volume (BAW) avec des performances acoustiques

élevées dans la gamme de fréquence allant de 3,7 GHz à 7.5 GHz [28, 29]. L'industrialisation des techniques de dépôt de films minces de LN est en cours avec la PME française Annealsys, fabricant de renommée mondiale, et dans le cadre du projet ANR PRCE LINKS.

Le report-amincissement

Si les films réalisés par report-amincissement ont tout d'abord été mis en œuvre à FEMTO-ST pour

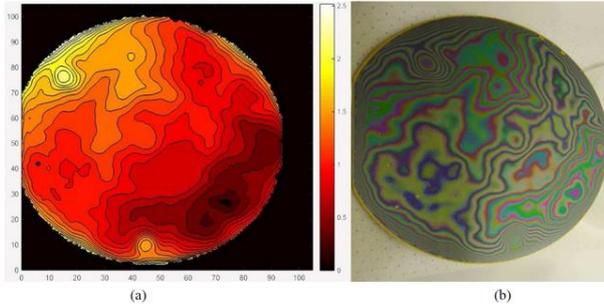


Figure 2: cartographie d'épaisseur (a) et photographie (b) d'un film de LN réalisé à FEMTO-ST par report-amincissement.

la réalisation de dispositifs acoustiques [30] un grand nombre de démonstrations ont par la suite été réalisées pour des applications en optique. Dans le domaine des filtres acoustiques, ce type d'empilement versatile a permis de faire émerger des solutions technologiques innovantes qui conduisent aujourd'hui à des réalisations industrielles d'envergure internationale [31].

Cette technique consiste à assembler un wafer de LN et un substrat support (Si) avec une couche tampon isolante (SiO_2) puis à amincir le LN par des procédés de polissage jusqu'à l'épaisseur désirée. Un exemple de réalisation présentée Figure 2. Le large choix d'épaisseur de LN possible, du sub-micron jusqu'à plusieurs dizaines de μm , permet d'accéder à des configurations inaccessibles jusqu'ici.

La découpe-ionique

Cette technique consiste à découper un film de LN à la surface d'un wafer de LN à l'aide d'un faisceau d'ions. Le film obtenu, d'épaisseur typique de 500nm, est ensuite reporté sur un wafer de silicium à l'aide d'une couche tampon généralement en silice pour former une structure LNOI [32]. Les membres du CEA impliqués dans le projet ont un savoir-faire reconnu pour la mise en œuvre de cette technique. Leur contribution dans le domaine de la photonique LNOI est illustrée par les résultats du projet européen ELENA [33]. Des communications récentes montrent ainsi la réalisation de guides LNOI à faibles pertes ($<0.14\text{dB/cm}$) [26].

Structuration-Gravure

La structuration des films de LN est l'étape clef initiale pour l'élaboration des dispositifs visés. Parmi les différentes techniques exploitables, un savoir-faire unique sur l'utilisation du sciage de précision, notamment pour créer des guides optiques à faibles pertes [34] est disponible. Il peut être combiné à des méthodes de fabrication standards, comme la diffusion titane [35]. Des modulateurs à faible tension de commande ont ainsi été démontrés [36]. Par ailleurs, les effets non linéaires exaltés par les fortes intensités accessibles dans ces guides donnent de la conversion de fréquences efficaces pour une large gamme de puissances (mW-W). Des démonstrateurs convaincants ont été réalisés dans des films de LN pour du SHG [15] et également pour la détection de photons dans le moyen infra-rouge par conversion vers le visible par somme de fréquence [16].

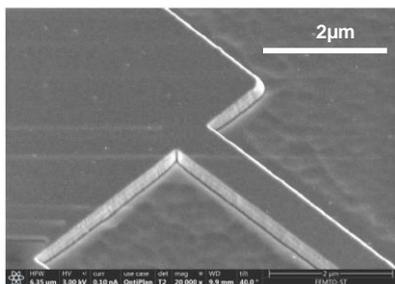


Figure 3: Image MEB d'une gravure plasma d'un nanofilm réalisée à FEMTO-ST

La difficulté de réalisation de circuits photoniques sur LN tient principalement à sa faible réactivité chimique qui en rend la gravure complexe, essentiellement réalisée par attaque « physique ». Les composants de haute performance réalisés sur LNOI ces dernières années l'ont été par gravure plasma argon (Ar) de forte intensité. Plusieurs approches ont déjà été explorées au sein du consortium avec différents types de masque, tels que la résine CSAR62, des diélectriques [37] ou des masques métalliques. La Figure 3 montre une image MEB d'une gravure plasma de 300 nm d'un film de LN.

Pour l'injection et l'extraction de la

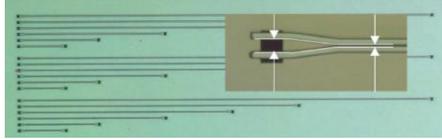


Figure 4: Image d'une structure comportant un réseau de couplage dans des guides d'onde LNOI réalisé au LAAS. Insert : détail d'un réseau de couplage présent sur cet échantillon

lumière dans les guides nanométriques, le couplage direct par les faces n'est pas aisé et la stratégie de couplage par réseaux est une bonne alternative. La Figure 4 montre une structure réalisée au LAAS pour de telles géométries. Un réseau uniforme sur LNOI permet d'obtenir un taux de couplage théorique de ~ 20% avec des géométries élémentaires. Les premières réalisations ont permis de mesurer un taux de couplage de l'ordre de -15 à -20dB, limité essentiellement par un accord imparfait entre l'angle de la fibre utilisée et la période du réseau de couplage.

Inversion périodique

Le LN est particulièrement adapté pour réaliser de la conversion de fréquences optiques. La première raison vient des coefficients non linéaires élevés ($d_{33}=25\text{pm/V}$) à cela s'ajoute la possibilité de réaliser un quasi-accord de phase (QPM) par inversion périodique de l'orientation cristalline du matériau. Il est alors possible d'exploiter un panel de configurations non linéaires mettant en jeu n'importe quelles longueurs d'onde dans la bande de transparence du matériau.

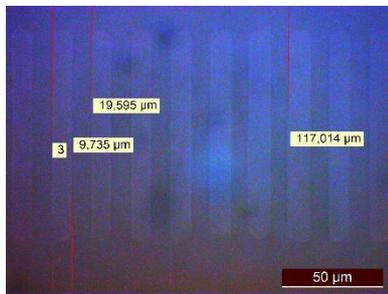


Figure 5: Image d'un wafer de LiNbO3 avec inversion périodique (période proche de 20 µm).

Au sein du consortium, l'inversion des domaines ferroélectriques pratiquée depuis de nombreuses années est basée sur l'application d'un champ électrique. Un exemple d'inversion périodique sur un wafer Z est présenté sur la Figure 5 avec un pas d'inversion de l'ordre de 20 µm.

Autres étapes technologiques

La fabrication d'électrodes est une étape technologique importante pour les dispositifs électro-optiques visés. Cependant, elle ne représente pas de difficulté particulière. En effet, l'expérience passée de certains membres du consortium dans l'élaboration et la caractérisation de modulateurs LN [38] en technologie standard (guides diffusion titane) sera mise à profit.

2. Description détaillée du projet

2.1. Description du projet, stratégie scientifique

Le premier défi du projet est d'atteindre un savoir-faire technologique mature pour chacune des étapes de fabrication qui mèneront à l'élaboration des puces ciblées. La maîtrise, dans des laboratoires français, de cette filière émergente basée sur les films de LN implique la mise au point de trois processus clefs comme évoqué ci-dessus : élaboration des films, structuration, inversion périodique (poling). **Le second défi est d'appliquer ces processus pour réaliser les deux familles de dispositifs cibles, l'une exploitant l'effet électro-optique et l'autre l'effet non linéaire.** De plus, le projet a l'ambition de démontrer le potentiel d'intégration de cette plateforme LN. Enfin, **une hybridation de ces fonctions avec d'autres plateformes photoniques telles que le silicium est ciblée afin de bénéficier de la complémentarité des différents matériaux.** La technique de microtransfert sera exploitée dans cette optique.

Les démonstrateurs ciblés et leur intégration pour former des puces photoniques permettront d'atteindre **une maturité technologique de niveau minimum TRL4.** Il est important de noter que le générateur de photons jumeaux, composants clefs en optique quantique, positionne le projet NanoFiLN à l'interface immédiate du PEPR quantique.

Le succès du projet repose sur le partenariat d'acteurs français pionniers du LN ainsi que des experts en nanophotonique.



2.2. Présentation scientifique et technique du projet

2.2.1 Objectifs scientifiques

Cette section décrit les choix technologiques et objectifs pour l'élaboration et la structuration des films LN ainsi que les détails des dispositifs ciblés et les performances visées.

Elaboration des films de LiNbO₃

Les trois méthodes d'élaboration des films de LN (épitaxie, report-amincissement, découpe ionique) sont déjà opérationnelles. Cependant, plusieurs points d'amélioration et d'adaptation sont prévus pour atteindre les objectifs du projet.

- Epitaxie :

Dans le cas d'une croissance directe, l'obtention d'une orientation contrôlée nécessite une croissance épitaxiale sur des surfaces ad hoc (par exemple, saphir). Ainsi, nous proposons une approche combinée [39] : une croissance LN par épitaxie sur un substrat de LN avec une couche sacrificielle permettant l'orientation voulue avec des épaisseurs homogènes et contrôlées (100 nm-600 nm) suivie d'un transfert de la couche LN. Le transfert des couches LN épitaxiées avec une couche sacrificielle de LaNiO₃ sera testé sur des petites surfaces (<cm²). Des développements supplémentaires seront nécessaires pour atteindre les exigences des applications photoniques.

- Report-amincissement :

Cette méthode offre une grande souplesse pour le choix des architectures de composants (épaisseur, orientation cristalline, matériaux...) tout en préservant les propriétés du LN massif.

Le défi du projet est d'améliorer le process afin d'obtenir avec une meilleure uniformité d'épaisseur sur des surfaces étendues. Deux solutions seront étudiées : 1) perfectionner l'étape d'amincissement par polissage mécano-chimique 2) retoucher localement les films amincis. Des premiers essais de retouche avec des industriels ont déjà donné des résultats prometteurs.

- Découpe ionique :

Ce procédé maîtrisé par l'équipe du CEA-LETI donne des résultats à l'état de l'art pour des films LN coupe-X d'épaisseur typique 600 nm. Au besoin, les paramètres de fabrication seront optimisés si d'éventuelles limitations apparaissent (tenue mécanique, uniformité, rugosité). Des films LN avec un dopage magnésium (MgO) seront développés dans le but d'atténuer l'effet photoréfractif parasite.

Gravure

La gravure des films est une étape centrale pour la réalisation des guides d'ondes et autres fonctions en optique intégrée. Les faibles sections transverses (qqz μm²) ainsi que les pertes de propagation réduites (<0,1dB/cm) ciblées pour ces guides implique une résolution sub-micrométrique et l'obtention d'états de surface à faible rugosité (Ra < 1nm).

La limitation actuelle d'une gravure plasma par attaque « physique » avec une faible sélectivité des masques nécessite de réaliser un effort conséquent sur cette étape technologique clef.

Dans ce but, trois approches seront étudiées : 1) Utilisation d'un empilement vertical tri-couche Si_xO_yN_z/LN/SiO₂ où seule la seule gaine supérieure en Si_xO_yN_z sera structurée ce qui évite la gravure du film de LN mais limite les pertes avec un confinement modeste. 2) Gravure partielle du film LN donnant accès à des forts confinements optiques. L'enjeu est ici d'étudier la reproductibilité du procédé, d'en fixer les dimensions accessibles. 3) Gravure sur l'épaisseur totale du film de LN constituera la troisième solution.

Dans cette quête, l'élaboration des masques de gravure représente un point important, plusieurs types de masques sont envisagés :

- a- Masques en résine : les résultats récents de la littérature ont été réalisés avec la résine CSAR62 adaptées pour des corrugations de l'ordre de 200 nm de profondeur. Les améliorations portent sur le durcissement de la résine (hardbake) pour améliorer la qualité des flancs de gravure.
- b- Masques métalliques : Les masques métalliques, en Cr ou Ni électroformés, sont une piste privilégiée lorsque les épaisseurs à graver sont supérieures à 500 nm.

- c- Masques diélectriques : il s'agit d'une alternative peu développée sur LN et bien maîtrisée au LAAS sur les III-V [37]. Les travaux porteront sur l'évaluation de la qualité des flancs de gravure pour des corrugations de 200 à 500 nm de profondeur.

Inversions périodiques

Comme indiqué précédemment, les dispositifs non linéaires ciblés, qui s'appuient sur le QPM, nécessitent une inversion périodique (poling) de l'axe Z du LN. La Figure 6 (gauche) montre que des périodes entre 2 μm et 4 μm sont nécessaires pour atteindre le QPM aux longueurs d'onde d'intérêt (1550 / 775 nm). Le challenge est ici de réaliser cette réorientation cristalline pour des périodes courtes.

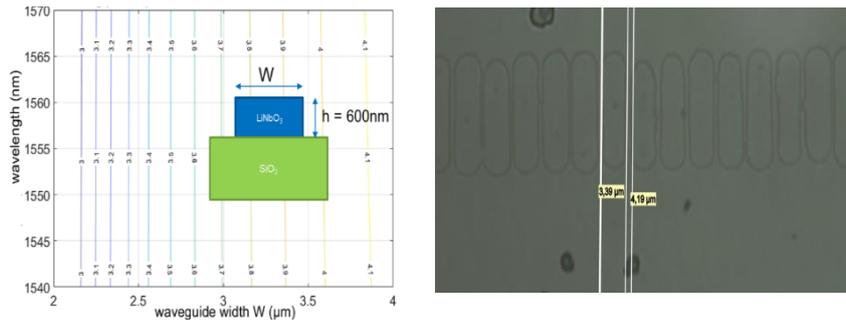


Figure 6: période d'inversion d'un guide ridge LNOI de 600nm d'épaisseur en fonction de la largeur W et de la longueur d'onde pompe (SHG).

Ces périodes d'inversion en accord avec des démonstrateurs récents [3, 4] sont réalisables en adaptant les protocoles utilisés au sein du consortium sur des périodes plus grandes (Figure 5). Ainsi des résultats préliminaires récents, réalisée à l'institut FEMTO-ST, ont permis d'obtenir une période d'inversion de 4 μm sur un film de LN orienté Z obtenu par report-amincissement (Figure 6 droite). La mise au point d'une méthode alternative pour l'inversion de films orientés suivant x à l'aide d'électrodes métalliques coplanaires a débuté à INPHYNI. Cette dernière configuration est plus usité dans la littérature des films LN en raison de sa compatibilité avec des électrodes de poling réalisées par photolithographie. Les développements de l'inversion de LN dopé MgO sont également prévus. Notons que les faibles périodes visées permettront d'étudier des configurations QPM innovantes.

Micro-transfert

Pour apporter la modulation de Pockels et la non-linéarité du second ordre aux plateformes compatibles CMOS comme le silicium et le nitrure de silicium nous allons réaliser l'hybridation de composants LN [40]. Un équipement de micro-transfert, livré en décembre 2023 au C2N, sera mis à profit pour étendre le potentiel des composants LN.

Cette hybridation commencera par la mise au point d'un protocole pour libérer les couches de LN de son substrat initial. A la suite, le transfert de ces couches sur un substrat hôte comme le silicium sera développé. L'ambition est ensuite de démontrer le transfert des composants cibles du projet. Ainsi, un guide SHG millimétrique fonctionnalisé sera hybridé avec des guides SiNx. Cette démonstration sera complétée par l'association d'un composant micrométrique sur silicium pour remplir la fonction de modulation.

Dispositifs non-linéaires

Le générateur de photons jumeaux/intriqués est une fonction clé pour l'implémentation de l'optique quantique car elle correspond à la fonction source. Il met en œuvre l'ensemble des étapes technologiques décrites ci-dessus hormis le dépôt d'électrodes. Ces composants seront caractérisés par la qualité de l'intrication temps-énergie des paires de photons émises dans une expérience de type Franson [41]. Ces architectures seront également qualifiées pour réaliser de la SHG qui est l'effet inverse de la fluorescence paramétrique (SPDC) exploité pour les sources de photons intriqués. Deux types de structure (Figure 7) seront testés :

1. Des guides d'onde droits pour exploiter le plus fort coefficient non-linéaire par QPM ou par accord de phase par biréfringence.
2. Des configurations de conversion résonante dans des micro-résonateurs à modes de galerie (micro-disques, micro-anneaux).

Ces dispositifs seront caractérisés en suivant l'approche chronologique suivante :

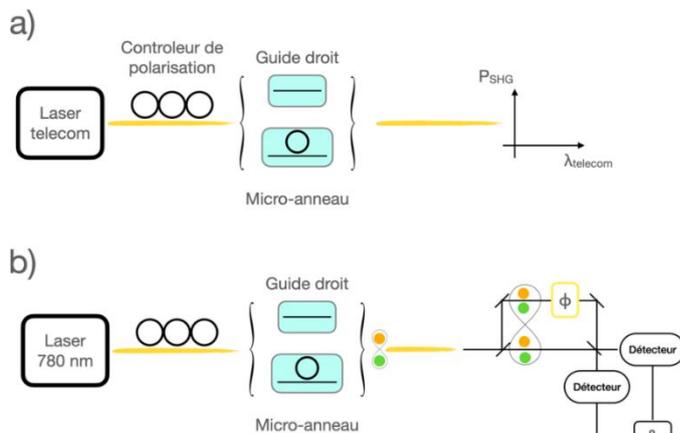


Figure 7: Configurations et structures étudiées pour la mise au point d'un générateur de photons jumeaux/doubleur de fréquences.

- La configuration SHG, présentée sur la Figure 7a, permet de déterminer l'efficacité du processus non-linéaire et de fixer le point de fonctionnement (température, période d'inversion, longueur d'onde). L'optimum de conversion sera assuré par QPM ou par un accord de phase par biréfringence [42].

- La génération de paires de photons intriqués par processus SPDC (Figure 7b). A l'aide du point de travail trouvé précédemment, le spectre des paires de photons intriqués sera mesuré. Les métriques standards seront déduites de cette étape : largeur de spectre et brillance. La mesure du taux de photons

uniques et de coïncidences permettra aussi de déterminer les pertes aux interfaces. Dans un second temps, la qualité de l'intrication sera mesurée à l'aide d'un montage interférométrique. Grâce à la visibilité des franges, la figure de mérite permettra de quantifier le degré d'intrication, et donc de qualifier la source [17, 43]. Dans le cas du micro-anneau, nous nous attacherons à relever la figure d'interférences pour les canaux complémentaires contigus au canal dans lequel se trouve le double de la pompe, mais également situés dans des canaux plus éloignés. L'idée est ici de connaître le potentiel de la source de paires de photons intriqués à produire des paires de photons multiplexées.

Il faut noter que ces composants nonlinéaires LN exhibent d'excellentes performances pour la génération de peignes de fréquence [6] et de supercontinuum [7]. De plus, le LN a montré un fort potentiel pour la génération des signaux térahertz [44]. NanoFiLN se situe donc à l'interface des projets PEPR ciblés OFCOC et FUNTERA.

Dispositifs électro-optiques

La seconde propriété emblématique du LN, l'effet électro-optique, sera mise en œuvre à travers deux dispositifs : un modulateur ainsi qu'un commutateur (switch). Ces architectures dérivent des études sur des guides standards [45] mais avec des tensions de commande plus faible et une bande-passante plus large apportées par le fort confinement des nanoguides. Une amélioration d'un ordre de grandeur est possible par rapport à des guides classiques [46]. Une intégration de plusieurs fonctions sur une même puce est également ciblée notamment pour créer des réseaux de commutateurs.

Ces dispositifs électro-optiques reposent sur des étapes technologiques communes mis à part le poling. Après l'élaboration du film, une étape de gravure des guides puis le dépôt de couches tampons et des électrodes sont réalisées.

Le design des structures standards sera adapté aux nanoguides. Les électrodes, dont l'épaisseur typique est micrométrique, seront, suivant les applications visées, capacitives, à ondes progressives, ou segmentées [46]. Le challenge associé aux électrodes réside donc dans les compromis à trouver pour obtenir un compromis large-bande passante, faible tension de commande et accord d'impédance.

L'objectif est de développer des modulateurs/switches à l'état de l'art en termes de pertes, tension de commande et longueur active. Nous viserons une bande passante à 10 GHz pour les modulateurs, valeur très attractive pour les applications quantiques. Modulateurs de phase et d'intensité (Mach-Zehnder) de longueur active proche de 1.5 cm associé à une tension demi-onde de 1 V sont ciblés. Des tensions de commande similaires seront visées pour les switches, avec l'objectif supplémentaires de combiner plusieurs dispositifs sur une même puce.



Notons que ces modulateurs LN hautes performances adressent des problématiques connexes au projet PEPR ciblés OROR.

Dispositifs de couplage

Pour l'injection et l'extraction de la lumière, un couplage direct par les faces à l'aide de fibres clivée/lentillées est la solution standard pour les tests initiaux. Cette méthode sera utilisée avec des faces entrée/sortie préalablement découpées à la scie de précision et au besoin à l'aide d'un Faisceau d'Ions Focalisés (FIB).

L'injection peut cependant être améliorée à l'aide de dispositifs de couplage par réseaux ou zones adiabatique [47]. Cette dernière approche donne des pertes d'insertion de 2.6 dB. Des efficacités de 45% (pertes de 3,5dB) ont été démontrées avec des réseaux optimisés [48]. Ces taux de couplage pourront encore être améliorés en utilisant des géométries résonantes de type « resonance grating coupler » [49] très similaires aux CRIGF parfaitement maîtrisés au LAAS.

2.2.2 Résultats attendus, implications des partenaires

Des objectifs décrits ci-dessus résultent en une décomposition du projet en 5 lots (tâches) : management, étapes technologiques, dispositifs non-linéaires, dispositifs électro-optiques et dispositifs de couplage. Les responsables et acteurs principaux des lots ainsi que les objectifs clefs sont résumés dans le tableau ci-dessous. Cette organisation a été établie en regard des domaines d'expertise des partenaires et des équipements technologiques à disposition de chaque laboratoire.

Lot	Intitulé	Acteurs	Objectifs principaux
1.A	Management Pilotage du projet	Leader : FEMTO-ST Partenaire : LAAS, INPHYNI, C2N, CEA-LETI	Suivis des différents lots et coordination
1.B	Mise en place de la filière	Leader : FEMTO-ST Partenaire : LAAS, INPHYNI, C2N, CEA-LETI	Mise en place d'une filière académique française en photonique dédié sur film LN. Garantir la pérennité du savoir-faire et son accessibilité.
2.A	Etapes techno. Fabrication films Lot 2.A.1 épitaxie-transfert Lot 2.A.2 report /amincissement Lot 2.A.3 découpe ionique	Leader : FEMTO-ST Leader : FEMTO-ST Leader : CEA-LETI	Film de LN orientations Z et X d'épaisseur 100-600 nm±10 nm transférable Film LN orientations Z et X d'épaisseur sub µm- qqs µm ±50 nm sur wafer 4 pouces Film LN orientation X d'épaisseur 600 nm ±10 nm sur wafer 4 pouces.
2.B	Gravure Lot 2.B.1 masque résine Lot 2.B.2 masque métal	Leader : LAAS Leader : FEMTO-ST Partenaires : INPHYNI, C2N, CEA	Réalisation de guides optiques - Section entre 1 µm ² et 6 µm ² - Pertes @ 1,55 µm < 0,5 dB/cm répétitif, meilleure perf. < 0,1 dB/cm
2.C	Inversion périodique	Leader : INPHYNI Partenaire : FEMTO-ST, C2N	Poling périodique sur film mince LN x-cut et z-cut non dopé et dopé MgO Période entre 2 et 5 µm, Rapport cyclique 50%±10%
2.D	Micro-transfert	Leader : C2N Partenaire: FEMTO-ST, INPHYNI, LAAS	Transfert film LN, puis hybridation fonctionnelle de deux composants : fonction SHG et modulation.
3.A	Dispositifs nonlinéaires	Leader : FEMTO-ST	Obtention rendement conversion SHG@1,55 µm > 1000 %/W.cm ²



	Composant SHG droit	Partenaires : INPHYNI, LAAS	Longueur > 5 mm, QPM type 0 et biréfringence type-I
3.B	Résonateur	Leader : LAAS Partenaires : FEMTO-ST, INPHYNI	Rendement SHG > 25000%/W @ 1,5 µm; Coefficient de qualité Q > 10 ⁵
3.C	Générateur de photons jumeaux	Leader : INPHYNI Partenaires: LAAS, FEMTO-ST	Brillance > 10 ⁶ paires/s/mW/GHz @ 1.5µm
4.A	Dispositifs électro-optiques Modulateur de phase	Leader : FEMTO-ST Partenaire: C2N, INPHYNI, LAAS	V _{pi} ≈ 1V, pertes d'insertion < 3 dB, bande passante > 10 GHz
4.B	Switch/commutateur	Leader : INPHYNI Partenaire: FEMTO-ST, LAAS	Tension commande ≈ 1 V, au moins 4 switches intégrés sur une puce
5	Dispositifs de couplage Réseaux/taper	Leader : LAAS Partenaires : FEMTO-ST, INPHYNI	Couplage > 20%, meilleure performance > 50%

Le détail en termes d'objectifs et d'implication des partenaires est donné ci-après

➤ Pilotage du projet (Lot 1A)

Objectifs : Organisation des différentes revues internes ; des réunions contractuelles (kick-off, revues d'avancement semestrielles et finale) ; Mise en place de l'accord de partenariat ; Suivi du planning ; reporting auprès du donneur d'ordre.

Résultats attendus : Accord de partenariat ; Rapports d'avancement semestriels ; rapport final de synthèse ; rapports de réunion

➤ Mise en place de la filière (Lot 1B)

Objectifs intermédiaires : Définition des flow-charts, référencement des procédés.

Objectif principal : Mise en place de la filière nationale avec mise à disposition pour l'ensemble des acteurs académiques, des protocoles technologiques (gamme dimensionnelles accessibles, flow-chart) via le réseau RENATECH.

Implication des partenaires :

- Le référencement des procédés se fera suite à la réalisation des différents objectifs (intermédiaires, puis principaux) du lot technologique (Lot 2). Chaque partenaire ayant contribué mettra à disposition les moyens nécessaires, pré-requis et les spécifications atteignables.

- La définition des flow-charts se fera suite à la réalisation des différents objectifs des démonstrateurs (Lot 3-5). Les différents partenaires ayant contribué mettront à disposition le design et les procédés à suivre pour l'obtention des démonstrateurs (conception). Ce flow-chart sera partagé avec l'ensemble des partenaires et permettra de fixer un cahier des charges pour ces différents lots. Au cours du projet, les échanges réguliers permettront d'arriver au référencement des procédés et aux flow-chart finaux.

Fabrication des films de LN

➤ Par épitaxie (Lot 2A1)

Objectifs intermédiaires / principal : Croissance LN stœchiométrique par épitaxie sur substrats hôtes pour obtention de films LN de qualité photonique orienté X et Z, épaisseur 100-600 nm±10 nm. Transfert de ces couches LN sur des petites surfaces (cm²) grâce à une couche sacrificielle de LaNiO₃.

Partenaires impliqués : FEMTO-ST réalisera l'épitaxie. La mise au point du transfert des couches sera réalisée en collaboration avec le C2N. Les films seront fournis aux partenaires LAAS, INPHYNI et C2N pour développement des process/dispos.

➤ Par report-amincissement (Lot 2A2)



Objectifs intermédiaires/final : Fabrication de films de LN orienté X et Z (non dopé ou dopé MgO) d'épaisseur qq μ m à sub- μ m avec uniformité d'épaisseur < 50 nm sur wafer 4 pouces. Uniformité d'épaisseur < 10 nm sur surfaces < 1 cm².

Partenaires : Développement des process par FEMTO-ST. Fourniture des films aux partenaires LAAS, INPHYNI et C2N pour développement des process/dispos.

- Par découpe-ionique (Lot 2A3)

Objectifs intermédiaires/final : Fabrication de films de LNOI orienté x (non dopé ou dopé MgO) d'épaisseur 600 \pm 10 nm sur wafer silicium 4 pouces avec buffer de silice (1-2 μ m).

Partenaires : Développement des process par CEA-Leti. Fourniture des films aux partenaires FEMTO-ST, LAAS, INPHYNI et C2N pour développement des process/dispos.

Structuration/micro-transfert

- Gravure (Lot 2B)

Objectifs intermédiaires / objectif final : Mise en œuvre de trois procédés (guide ruban Si_xO_yN_z, gravure partielle du LN, gravure profonde du LN) pour réaliser des guides faibles pertes (< 0,1 dB/cm). Un des objectifs est de définir la ou les techniques de fabrication mieux adaptées.

Partenaires : LAAS leader des travaux sur le procédé 1 (Si_xO_yN_z). Pour les procédés 2 et 3, deux voies sont prévues : masque résine et métallique (gravures profondes > 500 nm). Les équipements les plus adaptés des 4 centrales technologiques (FEMTO-ST, LAAS, INPHYNI et C2N) seront exploitées pour ce développement clef.

- Inversion périodique (Lot 2C)

Objectifs intermédiaires / objectif final : Réaliser une inversion périodique du LN pour des pas jusqu'à 2 μ m avec rapport cyclique de 50% pour film X ou Z avec ou sans dopage MgO.

Partenaires : travaux en partenariat INPHYNI (orientation X) et FEMTO-ST (orientation Z) puis fourniture aux partenaires.

- Micro-transfert (Lot 2D)

Objectifs intermédiaires / objectif final : Mise au point du transfert de nanofilms de LN de surface < 1 cm². Réalisation d'une hybridation fonctionnelle avec plateforme silicium (composant SHG) et SiN_x (modulateur).

Partenaires : Travaux menés au C2N. Les films et composants transférés seront réalisés en partenariat avec INPHYNI, FEMTO-ST et LAAS.

- Dispositifs non-linéaires (Lot 3)

Objectifs intermédiaires / final : Deux configurations ciblées : guides droits (Lot 3A) et résonateurs en anneaux (Lot 3B). Rendements de conversion en SHG > 1000%/W.cm² pour guide droit et > 25000 %/W pour résonateur @ 1,55 μ m. Structures exploitées pour l'élaboration de la source de photons intriqués (Lot 3C) avec une brillance > 10⁶ paires/s/mW/GHz.

Partenaires : FEMTO-ST, LAAS et INPHYNI seront les contributeurs principaux. FEMTO-ST sera leader des activités sur les guides droits SHG et le LAAS sur les résonateurs. INPHYNI sera leader des développements/caractérisations sur les sources quantiques.

- Dispositifs électro-optiques (Lot 4)

Objectifs intermédiaires / final : Deux applications visées : modulateurs (phase et intensité) et développement d'un commutateur 1 vers 2. Performances attendues : tension de commande (V_{π}) \approx 1 V, pertes d'insertion < 3 dB, bande passante > 10 GHz. Intégration de 4 commutateurs sur puce.

Partenaires : Design et caractérisation des modulateur réalisé à FEMTO-ST. Commutateurs étudiés/développés à INPHYNI. Les deux labos travailleront en partenariat sur ces dispos connexes.

- Dispositifs de couplage (Lot 5)

Objectifs intermédiaires/final : Développement de réseaux et taper de couplage/extraction. Efficacité > 20% avec meilleures performances > 50%.

Partenaires : Développements menés principalement au LAAS (réseaux) et à FEMTO-ST (taper) puis dispos intégré aux composants cibles.

2.3. Déroulement, indicateurs et jalons

Le diagramme de Gantt de la Figure 8 synthétise l'organisation du travail et indique les cibles et jalons associés à chaque lot.



Figure 8 : diagramme de Gantt du projet

Ces jalons et cibles ainsi que les risques potentiels et les mesures correctives envisagées sont listés dans le tableau ci-dessous.

Lot	Cible/jalon	Risques identifiés	Mesures correctives envisagées
1.A	Cib 1 : accord de partenariat ; Jal1-7 : Rapports d'avancement semestriels ; Cib 2 : Rapport final de synthèse ; rapports de réunion		
1.B	Jal1-7 : recensement flow-charts et procédés Cib 2 : mise en place filière académique française pour le domaine de la photonique LN pour l'ensemble des acteurs académiques.		
2.A.1	Cib1 : film LN 300nm uniform. < 5 nm sur couche sacrificielle, Jal1 : LN 600nm qualité photonique >1 cm ² . Cib2 : couche LN transférée		
2.A.2	Cib1 : films uniformité < 50 nm avec surf.> 1 cm ² Jal1 : films LN ép. 0.6 μm-10 μm±10 nm surf. > 1 cm ² .		
2.A.3	Cib1 : Structure 4 pouces LNOI X-cut ép. 600 nm, SiO ₂ -2μm. Uniformité < 10 nm surf. > 1 cm ² . Cib2 : structure idem mais LN MgO	Délai au démarrage du projet.	Fournisseur commercial.
2.B	Jal1 : gravure Ra<2 nm, prof. 200 nm, largeur motif < 5 μm ; Cib1 : gravure guide monomode > 1 cm long, perte < 0,1 dB/cm	Indisponibilité équipement	Eq ^t alternatif Renatech ou industrie.
2.C	Cib1 : poling film LN z-cut, période 2-20 μm, rapport cyclique 50%±10%, Cib2 : poling film LN x-cut, période 2-4 μm, rapport cyclique 50%±10%		
2.D	Cib 1 : transfert film LN sur plateforme CMOS, Cib2 : hybridation d'un composant SHG millimétrique avec guides SiNx, Cib3 : hybridation composant μmétrique de modulation sur guides silicium	Précision positionnement insuffisante	Adaptation structure ou méthode alternative
3.A	Jal1 : guide droit PPLN faible perte(< 0,5 dB/cm), Cib1 : composant SHG, rend. > 1000%/W.cm ² @1,55μm, Cib 2 : composant SHG avec pertes d'insertion < 3 dB.		



3.B	Jal1 : gravure résonateur faibles pertes Cib 1 : résonateur fonctionnel $Q > 10^5$ Cib 2 : résonateur avec rendement SHG $> 25000\%/W$ @ 1,55 μm		
3.C	Jal1 : Démo intrication dans nanostructure Cib1 : générateur photons intriqués 10^6 paires/s/mW/GHz @ 1,5 μm		
4.A	Cib1 : modulateur phase $V_{\pi} \approx 1V$, insertion $< 3dB$ Cib2 : modulateur Mach-Zehnder, perf idem		
4.B	Jal1 : gravure switch; Cib1 insertion $< 3 dB$, $V_{\pi} \approx 1 V$, Cib2 : intégration 4 switches		
5	Jal 1 : gravure réseaux pas 500 nm-1 μm Cib 1 : coupleur $> 20\%$ efficacité Cib 2 : efficacité de couplage $> 50\%$		

Un descriptif des différents livrables est donné ci-dessous. Les personnes responsables de chaque livrable sont précisées dans le paragraphe 3.2 du document.

Lot	livrables	Date	Responsable
1.A	Accord de partenariat	T0+6mois	FEMTO-ST
	Rapports d'avancement semestriels		
	Rapport final de synthèse	T0+48mois	
1.B	Flow charts de chaque procédé validé		FEMTO-ST
	Référencement des procédés		
	Mise en place filière LN	T0+48mois	
2.A.1	Procédé croissance LN orientations X et Z sur couche sacrificielle	T0+18mois	FEMTO-ST
	Validation qualité photonique couches	T0+30mois	
	Transfert couches sur substrat hôte	T0+40mois	
2.A.2	Film LN qqs $\mu m \pm 50$ nm Z-cut sur $SiO_2 > 1 cm^2$	T0+6mois	FEMTO-ST
	Film LN 0,5-10 $\mu m \pm 50$ nm Z-cut sur wafer 4pouces	T0+24mois	
2.A.3	Film LN 600 nm X-cut sur SiO_2 (2 μm)	T0+6mois	CEA-Leti
	Film LN: MgO 600 nm X-cut sur SiO_2 (2 μm)	T0+24mois	
2.B	Guides droits avec pertes $< 0,1 dB/cm$	T0+18mois	LAAS
2.C	film LN z-cut avec poling de période 2-20 μm	T0+12mois	FEMTO-ST
	film LN x-cut avec poling de période 2-4 μm	T0+18mois	INPHYNI
2.D	Transfert film LN sur substrat hôte	T0+24mois	C2N
	Hybridation fonctionnalisée guide SHG	T0+35mois	C2N
	Hybridation fonctionnalisée composant modulation	T0+44mois	C2N
3.A	Composant nonlinéaire SHG	T0+36mois	FEMTO-ST
3.B	Résonateur fonctionnel $Q > 10^5$	T0+32mois	LAAS
	Résonateur avec rendement SHG $> 25000\%/W$	T0+40mois	LAAS
3.C	Générateur de photons intriqués	T0+44mois	INPHYNI
4.A	Modulateur de phase	T0+24mois	FEMTO-ST
	Modulateur d'intensité	T0+44mois	FEMTO-ST
4.B	Switch fonctionnel	T0+30mois	INPHYNI
	4 switches intégrés sur puces	T0+44mois	INPHYNI
5	Dispositif couplage	T0+30mois	LAAS



3. Organisation et pilotage du projet

3.1. Responsables du projet

Un porteur de projet ainsi qu'un co-responsable, en charge des développements technologiques, dirigent le projet.

Responsable : **Mathieu Chauvet**, né le 13/06/1967, est professeur à l'Université de Franche-Comté depuis 2008 et effectue ses travaux de recherches dans l'équipe d'optique nonlinéaire (ONL) de l'institut FEMTO-ST à Besançon. Son travail de recherche concerne l'étude ou l'exploitation de non linéarités optiques. Auteur ou co-auteur de 90 publications RICL et de 150 communications internationales et nationales. Fonctions/responsabilités particulières exercées : responsable équipe ONL, membre Copil réseau ROP, directeur adjoint école d'ingénieur en biomédical (ISIFC), membre comité scientifique ou d'organisation de conférences (EOSAM, PRM, EQEC/CLEO, OμS), membre comité éditorial journal « sensors », membre nommé CNU section 30, DGESIP. Porteur/participant de projets de recherches en cours/récents : projet européens Actphast (2022-), ANR-PRCI « Triqui » (-2022), ANR-PRCE « Cépage » (-2019), Projet ISITE UBFC (-2020).

Co-responsable : **Thomas Baron**, né le 28/07/1978, est Ingénieur de Recherche HC à l'Ecole National Supérieur de Mécanique et de Microtechnique depuis 2010. Ses activités de recherche sont dédiées à la conception, réalisation et caractérisation d'éléments résonnants piézoélectriques pour des activités de filtrage et de références de Temps/Fréquence embarquées. Les compétences mises en œuvre sont la conception de dispositifs à ondes de surface ou de volume, la micro-fabrication, la caractérisation des matériaux et des composants radiofréquences, le packaging de ces composants. L'ensemble de ces activités a donné lieu à 24 publications ou brevets et 68 communications. Thomas Baron est actuellement le directeur de la plateforme de recherche MIMENTO du réseau national CNRS RENATECH et responsable de l'équipe CoSyMA du département Temps-Fréquence de FEMTO-ST.

3.2. Organisation du partenariat

Le consortium regroupe des laboratoires qui ont une activité reconnue dans le domaine de la nanophotonique et trois d'entre eux hébergent une centrale du réseau RENATECH (C2N, FEMTO-ST, LAAS). La mise en commun de leurs savoir-faire et moyens technologiques est un gage de succès pour une mise en place de cette filière nationale académique en optique intégrée LN.

Plus spécifiquement, deux laboratoires, FEMTO-ST et INPHYNI, ont des activités sur LN depuis plusieurs décennies. Ces deux laboratoires possèdent donc des équipements dédiés ainsi qu'une expérience forte sur le développement de ces dispositifs.

FEMTO-ST a notamment contribué à de nombreux développements en photonique s'appuyant sur l'effet électro-optique du LN et possède donc un savoir-faire technologique acquis de longue date. Ainsi, le leader mondial des modulateurs LN (IXBlue devenu Exail) émane de trois anciens chercheurs de l'Institut. Le LN est toujours un matériau phare de FEMTO-ST avec des travaux récents qui tirent parti de films de LN, thématique centrale du présent projet.

L'équipe d'INPHYNI est reconnue depuis le début des années 2000 pour ses travaux dans le domaine de la photonique quantique. Les membres de l'équipe ont été les pionniers dans le domaine de la photonique quantique intégrée basée sur des plateformes LN.

L'équipe du LAAS a engagé des travaux sur la photonique LN en 2018. Leur apport au projet découle des développements réalisés sur les filtres à réseau résonant en cavité [50] et/ou utilisé comme convertisseur de fréquences [22] (ANR ASTRID RESON 2019-2023 et contrat CNES-2019-2023). Cette expérience sur le design et la gravure de réseaux submicronique sera exploitée pour le couplage dans les guides LN. Leur procédé de gravure sèche est en cours d'adaptation pour le LN. Les moyens technologiques (gravure, dépôt, caractérisation, ...) du laboratoire C2N, déjà éprouvés sur des développements avancés en optique intégrée, seront mis à profit afin de sélectionner des



processus optimums de fabrication pour le LN. Par ailleurs, les membres du C2N apportent leurs compétences pour l'hybridation du LN avec d'autres plateformes (III-V, CMOS). L'acquisition en cours d'une machine de micro-transfert est un élément clef dans cette tâche.

Enfin le CEA-LETI met à disposition son savoir-faire unique en Europe sur l'élaboration de structures LNOI par découpe ionique. Une majeure partie des développements du projet sera réalisée à partir de ces structures qui constituent donc le socle de cette filière LN.

Chaque laboratoire du consortium a fait émerger un responsable qui dirige également des lots :

- **Mathieu Chauvet** [15], PR UFC/**FEMTO-ST**, management (Lot 1), report-amincissement (Lot 2.A.2), guides SHG droits (Lot 3.A).
- **Olivier Gauthier Lafaye** [22], DR CNRS **LAAS**, gravure (Lot 2.B) et dispositifs de couplage (Lot 5).
- **Sophie Bouchoule**, DR CNRS/**C2N**, micro-transfert (Lot 2.D).
- **Florent Doutre** [21], IR CNRS/**INPHYNI**, poling (Lot 2.C), switches (Lot 4.B).
- **Soizic Leforestier** [25], IR **CEA-LETI** Grenoble, films LN par découpe ionique (Lot 2.A.3).

Des animateurs de lots clefs ont aussi été définis :

- **Thomas Baron** [28], IR ENSMM/**FEMTO-ST**, management (Lot 1.B) et .
- **Ausrine Bartasyte** [27], PR UFC/**FEMTO-ST**, épitaxie (Lot 2.A.1).
- **Laurent Labonté** [1], PR Université Cote d'azur/**INPHYNI**, générateur photons intriqués (Lot 3.C).
- **Stéphane Calvez** [50], CR CNRS au **LAAS**, élaboration des résonateurs (Lot 3.B).
- **Nadège Courjal** [13], PR UFC/**FEMTO-ST**, modulateurs électro-optiques (Lot 4.A).

3.3. Pilotage

L'envergure du projet nous conduira à recruter un chargé de projet qui sera en charge de la gestion, du suivi et des relations avec les établissements partenaires pour la partie financière. Ce recrutement sera financé par les frais de gestion.

Des réunions semestrielles animées par le responsable et co-responsable du projet avec l'ensemble des laboratoires seront programmées pour un bilan des résultats majeurs, une planification des tâches à venir et un suivi des cibles et jalons. Ces réunions permettront une vision globale de l'avancement pour tous les acteurs. Afin de suivre scientifiquement et techniquement les avancés et les risques du projet, des points mensuels seront programmés avec les responsables de lots et les acteurs concernés. En complément des réunions ciblées entre partenaires impliqués sur des développements technologiques ou des composants connexes seront programmées. Ces réunions pourront se faire à l'initiative des responsables de lot.

Les comptes rendus des réunions semestrielles seront communiqués aux responsables du PEPR Electronique. Des représentants de NanoLiFN participeront aux réunions du PEPR Electronique afin de communiquer sur le projet et interagir avec les acteurs des projets connexes (OFCOC, OROR...). La communication publique des actions du projet se fera aussi à travers un site web en lien avec le PEPR Electronique et les sites des différents laboratoires. Un plan de gestion de données sur le modèle des autres projets du PEPR Electronique sera réalisé.

La valorisation et l'exploitation des résultats du projet seront gérées par un accord de partenariat formalisé entre les partenaires durant le premier semestre du projet. D'un point de vue confidentialité par exemple, les partenaires s'accordent sur la volonté commune de privilégier la propriété intellectuelle issue des travaux et de protéger les savoir-faire critiques lorsque ceux-ci ne peuvent faire l'objet de protection institutionnelle. Par ailleurs, les partenaires pourront réaliser des publications scientifiques de qualité lorsque les critères de protection intellectuelle (durée de dépôt, accord consensuel) le permettront.

3.4. Stratégie des établissements

Les établissements impliqués mettent à disposition des équipements (centrales RENATECH) ainsi qu'un ensemble de personnel (enseignants-chercheurs, chercheurs et ITA) pour un total de 160



mois-homme correspondant à environ 2M€ sur les 4 ans projet. A cela vient s'ajouter un chargé de mission financé pour la durée du projet sur les frais de gestion.

Le financement PEPR demandé permettra de recruter 4 doctorants et 120 mois-homme en CDD (IR/post-doc). Afin d'optimiser la synergie, un co-encadrement inter-laboratoire sera mis en place pour les 4 doctorants. Ainsi la thèse sur les dispositifs électro-optiques dirigée par Florent Doutre d'Inphyni et sera co-encadrée par Nadège Courjal de FEMTO-ST; La thèse sur l'épitaxie dirigée par Ausrine Bartaszyte (FEMTO-ST) sera co-encadrée par Sophie Bouchoulle/Rémy Braive du C2N; La thèse sur les résonateurs/coupleurs dirigée par Olivier Gauthier-Lafaye du LAAS sera co-encadrée par Thomas Baron (FEMTO-ST). Enfin, la thèse sur la SHG dirigée par Mathieu Chauvet (FEMTO-ST) sera co-dirigée par Stéphane Calvez du LAAS. Notons que chaque thèse bénéficiera d'un partenariat privilégié avec un post-doctorant/IR du laboratoire co-encadrant.

Enfin, 450k€ pour l'achat d'équipements et 725k€ de frais de fonctionnement sont demandés pour contribuer aux coûts d'utilisation des équipements, à l'achat des matériaux (wafers), aux développements de montages dédiées aux caractérisations ou encore aux missions.

4. Impact et retombées du projet

Le savoir-faire développé et mis à disposition, via le réseau RENATECH, à l'ensemble des acteurs académiques français va répondre à l'enjeu national stratégique de positionnement de la filière à fort potentiel en photonique intégrée LN actuellement dominée par des équipes américaines et chinoises. Ces travaux visent premièrement à améliorer les performances des systèmes télécoms optiques mais les puces photoniques au centre du projet permettront également un traitement fiable et efficient de l'information quantique venant donc en appui du PEPR quantique. Par ailleurs, le savoir-faire développé sur les films LN a un spectre d'application encore plus large de par ses propriétés intrinsèques et son potentiel d'intégration sous la forme de puces monolithiques ou hybrides. On peut citer la détection/génération ou encore le traitement de signaux du moyen infrarouge (détection polluants, astronomie, télécoms en espace libre), la génération d'ondes térahertz (contrôle non destructif, communications), les applications des peignes de fréquence ou encore les filtres RF pour les communications sans fils haut débit (5-6G). Le projet NanoFiLN vient donc en appui de projets ciblés tels que FUNTERA, OFCOC, OROR ou encore T-REX-6G en offrant des solutions complémentaires ou alternatives au tout-semiconducteur.

Des industriels européens de premier plan (Exail, Triumph, ...) sollicitent déjà des membres du consortium à propos des développements au cœur de NanoFiLN. Il est donc évident que les connaissances et techniques acquises permettront d'innover et d'initier la création d'une industrie Française dans le domaine.

La publication, diffusion et promotion des résultats scientifiques sera assurée à travers des publications RICL et communications dans des conférences notamment dans le cadre des thèses financées par le projet. Une diffusion ouverte à un public plus large sera faite lors des visites de laboratoires, fêtes de la science ou autres événements auxquels participent les labos/universités.

D'un point de vue environnemental, des études sur l'extraction plus vertueuse du niobium et du lithium sont en cours afin de réduire la consommation en énergie et en eau, poussées par une forte demande en métallurgie et pour les batteries (lithium). La synthèse, à partir de ces éléments, de cristaux de LiNbO_3 de grande pureté et dimension est basée sur la méthode de Czochralski largement éprouvée pour les semiconducteurs. Deux des procédés au cœur du projet NanoFiLN (report-amincissement et découpe ionique) utilisent ces cristaux alors que le troisième (épitaxie) part de précurseurs ce qui permettra une analyse performances/vertus environnementale. Par ailleurs, un travail d'économie d'énergie est en cours au sein des laboratoires afin de limiter l'empreinte carbone des technologies. De plus, les gaz issus des procédés de fabrication sont traités avant rejet dans l'air afin de limiter les gaz à effet de serre et la mise en commun des technologies au sein du consortium évite la multiplication des infrastructures. Enfin, le but fédérateur du projet est de réaliser



des puces intégrées pour un traitement optique plus efficace de signaux de faible puissance ce qui tend donc vers une utilisation optimale du matériau consommation énergétique moindre.

5. Justification des moyens demandés

Laboratoire	Montant (k€)	Type dépense	Justification
FEMTO-ST	180	CDD IR 3 ans	Dév. technologiques (films, gravure)
	50	Equipement	Système caractérisation films (50k€)
	60	Fonctionnement	Consommable ; petit matériel ; publication ; frais salle blanche
	126	Thèse1 Epitaxie	Dév. croissance épitaxiale LN et procédés transfert
	60	Fonctionnement	Consommables (précurseurs, solvants, cibles, substrats) ; petit matériel (prismes, pompe à vide), frais de salle blanche
	126	Thèse2 SHG	Dév. & caract. composants SHG
	100	Equipement	Ampli HT faible bruit (25k€); Analyseur composant (40k€); caméra SWIR InGaAs (35k€);
	75	Fonctionnement	Achat wafers LN, consommable ; petit matériel ; publication ; frais salle blanche
	120	CDD IR 2ans	Développement & caractérisation modulateur
	100	Equipement	Analyseur type Luna 6400 (60k€), platines alignement actif (40k€)
	60	Fonctionnement	Consommable ; petit matériel, publication, frais salle blanche
	30	Missions	
Total	1087		
LAAS	126	Thèse 3 LAAS	Dév. résonateurs et couplage
	120	CDD IR 2ans	Développement technologie gravure
	85	Equipement	Lasers accordable 1550 et 780nm (2x30k€), caméras Vis/NIR (25k€)
	10	Missions	
	75	Fonctionnement	Wafer LNOI pour tests initiaux, frais salle blanche, consommable ; petit matériel optique ; publication
Total	416		
INPHINY	126	Thèse INPHYNI 4	Dév. & caract. poling/générateur photons intriqués
	90	Equipement	SMU HT(13k€); banc test sous pointe (16k€); spectroscopie M-Lines (40k€); réacteurs haute temp. & pression (14k€); banc d'injection laser (7k€)
	20	Missions	
	60	Fonctionnement	Consommable ; frais salle blanche, petit matériel, publication
Total	296		
C2N	180	CDD IR 3 ans	Dév. technologiques micro-transfert
	10	Missions	
	60	Fonctionnement	Consommable; petit matériel, publication
Total	250		
CEA-Leti	161,6	CDI60 IR	Dév. structures LNOI par découpe ionique
	230	Fonctionnement	
Total	391,6		
Frais (20%)	488		Frais de gestion
Aide ANR PEPR	2928		

6. Références bibliographiques citées

- [1] O. Alibart, V. D'Auria, M. D. Micheli, F. Doutre, F. Kaiser, L. Labonté, T. Lunghi, É. Picholle and S. Tanzilli, "Quantum Photonics at Telecom Wavelengths Based on Lithium Niobate



- Waveguides," *Journal of Optics*, vol. 18, p. 104001, 2016; <https://doi.org/10.1088/2040-8978/18/10/104001>.
- [2] M. Galan, V. Sorger, P. Juodawlkis, W. Loh, C. Sorace-Agaskar, A. E. Jones, K. Balram and al., "Roadmap on Integrated Quantum Photonics," *Journal of Physics: Photonics*, 2021; <https://doi.org/10.1088/2515-7647/ac1ef4>.
- [3] J. Zhao et al., «High quality entangled photon pair generation in periodically poled thin-film lithium niobate waveguides,» *Physical review letters*, vol. 124, p. 163603, 2020; <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.124.163603>.
- [4] J. Lu et al., «Periodically poled thin-film lithium niobate microring resonators with a second-harmonic generation efficiency of 250,000%/W,» *Optica*, vol. 6, pp. 1455-1460, 2019; <https://doi.org/10.1364/OPTICA.6.001455>.
- [5] M. Zhang, C. Wang, P. Kharel, D. Zhu et M. Loncar, «Integrated lithium niobate electro-optic modulators:when performance meets scalability,» *Optica*, vol. 8, pp. 652-667, 2021; <https://doi.org/10.1364/OPTICA.415762>.
- [6] C. Wang. et al., «Monolithic lithium niobate photonic circuits for Kerr frequency comb generation and modulation,» *Nature Communications*, vol. 10, p. 978, 2019.
- [7] M. Yu. et al., «Coherent two-octave-spanning supercontinuum generation in lithium-niobate waveguides,» *Optics letters*, vol. 44, pp. 1222-1225, 2019.
- [8] S. Saravi, T. Pertsch and F. Setzpfandt, "Lithium Niobate on Insulator: An Emerging Platform for Integrated Quantum Photonics," *Advanced Optical Materials*, vol. 9, p. 2100789, 2021; <https://doi.org/10.1002/adom.202100789>.
- [9] Y. Qi et Y. Li, «Integrated lithium niobate photonics,» *Nanophotonics*, vol. 9, pp. 1287-1320, 2020; <https://doi.org/10.1515/nanoph-2020-0013>.
- [10] j. Wang, H. Yang, N. Xiong, M. Zhang, N. Qian et S. Yi, «Toward photonic–electronic convergence based on heterogeneous platform of merging lithium niobate into silicon,» *Journal of the Optical Society of America B*, vol. 40, pp. 1573-1590, 2023.
- [11] M. Roussey, M.-P. Bernal, N. Courjal, D. V. Labeke and F. I. Baida, "Electro-optic effect exaltation on lithium niobate photonic crystals due to slow photons," *Applied physics letters*, vol. 89, p. 241110, 2006; <https://doi.org/10.1063/1.2402946>.
- [12] M.-P. Bernal, J. Amet, J. Safioui, F. Devaux, M. Chauvet, J. Salvi and F. I. Baida, "Pyroelectric control of the superprism effect in a lithium niobate photonic crystal in slow light configuration," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98, p. 071101, 2011; <https://doi.org/10.1063/1.3554373>.
- [13] H. Lu, B. Sadani, G. Ulliac, N. Courjal, C. Guyot, J. -M. Merolla, M. Collet, F. I. Baida and M.-P. Bernal, "6-micron interaction length electro-optic modulation based on lithium niobate photonic crystal cavity," *Optics Express*, vol. 20, pp. 20884-20893, 2012; <https://doi.org/10.1364/OE.20.020884>.
- [14] V. Calero, M.-A. Suarez, R. Salut, B. Robert, A. Caspar, F. Baida, N. Courjal and M.-P. Bernal, "Toward Highly Reliable, Precise, and Reproducible Fabrication of Photonic Crystal Slabs on Lithium Niobate," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 37, pp. 698-703, 2019.
- [15] V. Pecheur, H. Porte, J. Hauden, F. Bassignot, M. Deroh and a. M. Chauvet, "Watt-level SHG in undoped high step-index PPLN ridge waveguides," *OSA Continuum*, vol. 4, pp. 1404-1414, 2021; <https://doi.org/10.1364/OSAC.420448>.
- [16] L. Lehmann, L. Grossard, L. Delage, F. Reynaud, M. Chauvet and F. Bassignot, "Single photon MIR up conversion detector at room temperature with a PPLN ridge waveguide," *Optics Express*, vol. 27, pp. 19233-19241, 2019; <https://doi.org/10.1364/OE.27.019233>.
- [17] D. Aktas, B. Fedrici, F. Kaiser, T. Lunghi, L. Labonté and S. Tanzilli, "Entanglement Distribution over 150 Km in Wavelength Division Multiplexed Channels for Quantum Cryptography," *Laser & Photonics Reviews*, vol. 10, pp. 451-457, 2016; <https://doi.org/10.1002/lpor.201500258>.



- [18] A. Martin, A. Issautier, H. Herrmann, W. Sohler, D. B. Ostrowsky, O. Alibart and S. Tanzilli, "A Polarization Entangled Photon-Pair Source Based on a Type-II PPLN Waveguide Emitting at a Telecom Wavelength," *New Journal of Physics*, vol. 12, p. 103005, 2010; <https://doi.org/10.1088/1367-2630/12/10/103005>.
- [19] P. Vergeris, F. Mazeas, E. Gouzien, L. Labonté, O. Alibart, S. Tanzilli and F. Kaiser, "Fibre Based Hyperentanglement Generation for Dense Wavelength Division Multiplexing," *Quantum Science and Technology* 4, vol. 4, p. 045007, 2019.
- [20] F. Mondain, T. Lunghi, A. Zavatta, E. Gouzien, F. Doutré, M. D. Micheli, S. Tanzilli and V. D'Auria, "Chip-based squeezing at a telecom wavelength," *Photon. Res.*, vol. 7, pp. A36-A39, 2019.
- [21] X. Hua, T. Lunghi, F. Doutré, P. Vergeris, G. Sauder, P. Charlier, L. Labonté and al., "Configurable Heralded Two-Photon Fock-States on a Chip," *Optics Express*, vol. 29, p. 415, 2021; <https://doi.org/10.1364/OE.403552>.
- [22] F. Renaud, A. Monmayrant, S. Calvez, O. Gauthier-Lafaye, A.-L. Fehrembach and E. Popov, "Second-harmonic-generation enhancement in cavity resonator integrated grating filters," *Opt. Lett.*, vol. 44, p. 5198–5201, 2019; .
- [23] S. Calvez, G. Lafleur, A. Larrue, P.-F. Calmon, A. Arnoult and O. G.-L. G. Almuneau, "Vertically Coupled Microdisk Resonators Using AlGaAs/AIOx Technology," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 27, p. 982–985, 2015;.
- [24] F. S. I. Esparza, A. Lecestre, P. Dubreuil, A. Arnoult, A. Mlayah, A. Monmayrant and O. Gauthier-Lafaye, "GaAs membrane PhC lasers threshold reduction using AlGaAs barriers and improved processing," *Nanotechnology*, vol. 34, no. 1, p. 015303, 2023; DOI 10.1088/1361-6528/ac9685.
- [25] elena. [En ligne]. Available: <https://www.project-elena.eu/>.
- [26] J. Leo, M. Hayati, F. E. Agri, Z.Haddad, G. Choong, Y. Petremand, I. Prieto, O. Dubochet, M. Despont et A. G. H. Sattari, «Wafer-scale fabrication of low-loss waveguides in lithium niobate on insulator (LNOI) integrated photonics platform,» chez *European Conference on Optical Communication (ECOC)*, 2022.
- [27] A. Bartaszyte, S. Margueron, T. Baron, S. Oliveri and Boulet, "Toward High-Quality Epitaxial LiNbO₃ and LiTaO₃ Thin Films for Acoustic and Optical Applications," *P., Adv. Mater. Interfaces*, vol. 1600998, p. 4, 2017; <https://doi.org/10.1002/admi.201600998>.
- [28] A. Almirall, S. Oliveri, W. Daniau, S. Margueron, T. Baron, P. Boulet, S. Ballandras, S. Chamaly and A. Bartaszyte, "High-frequency surface acoustic wave devices based on epitaxial Z-LiNbO₃ layers on sapphire," *Appl. Phys. Lett.*, p. 162905, 2019; <https://doi.org/10.1063/1.5086757>.
- [29] S. Boujnah, Q. Micard, L. Arapan, M. Ivan, V. Soumann, M. Costanza, S. Margueron, V. Astié, J. Decams and A. Bartaszyte, "High Overtone Bulk Acoustic Resonator Based on 32.8°Y-LiNbO₃ Thin Film Grown by DLI-CVD," in *IEEE IFCS-EFTF*, japan, 2023.
- [30] F. Bassignot et al., «Hybrid wafers based on a "Silicon/PPLN thin film" stack for optical and Radio-Frequency applications,» 2015.
- [31] «www.soitec.com/fr/produits/poi/» [En ligne].
- [32] M. Bruel, "Silicon on insulator material technology," *Electronics Letters*, vol. 31, pp. 1201-1202, 1995;.
- [33] Nanoln, «<https://m.nanoln.com/>,» [En ligne].
- [34] N. Courjal, B. Guichardaz, G. Ulliac, J.-Y. Rauch, B. Sadani, H. H. Lu and M. Bernal, "High aspect ratio lithium niobate ridge waveguides fabricated by optical grade dicing," *J. Phys. D Appl. Phys.*, vol. 44, p. 305101, 2011;.
- [35] N. Courjal et .. al., «Low-loss LiNbO₃ tapered-ridge waveguides made by optical-grade dicing,» *Optics Express*, vol. 23, pp. 13983-13990, 2015.



- [36] N. Courjal et al., «Simple production of membrane-based LiNbO₃ micro-modulators with integrated tapers,» *Optics letters*, vol. 41, pp. 5110-5113, 2016;.
- [37] A. Larrue, D. Belharet, P. Dubreuil, S. Bonnefonta, O. G.-L. A. Monmayrant and F. Lozes-Dupuy, "Inductively coupled plasma etching of high aspect ratio two-dimensional photonic crystals in Al-rich AlGaAs and AlGaAsSb," *Journal of Vacuum Science & Technology B*, vol. 29, 2011; <https://doi.org/10.1116/1.3549125>.
- [38] N. Courjal, J. M. Dudley and H. Porte, "Extinction-ratio-independent method for chirp measurements of Mach-Zehnder modulators," *Optics Express*, vol. 12, pp. 442-448, 2004; <https://doi.org/10.1364/OPEX.12.000442>.
- [39] A. Reinhardt, M. Bousquet et A. Bartaszyte, «Procédé de réalisation d'un système micro-électromécanique réalisé à partir d'une couche piézoélectrique ou ferroélectrique reportée». Brevet F19 02226, US20200287511A1, 2019.
- [40] T. Vandekerckhove, T. Vanackere, J. D. Witte, S. Cuyvers, L. Reis, M. Billet, G. Roelkens, S. Clemmen et B. Kuyken, «Reliable Micro-Transfer Printing Method for Heterogeneous Integration of Lithium Niobate and Semiconductor Thin Films,» *arxiv : 2304.13760v*, 2023.
- [41] J. Francon, "Bell inequality for position and time," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 62, p. 2205, 1989;.
- [42] Wang, Z. Changwen, N. Haozong, ., B. Minghao, L. Fang, C. Lin and Y. , "Broadband Second Harmonic Generation in a z-Cut Lithium Niobate on Insulator Waveguide Based on Type-I Modal Phase Matching," *Photonics*, vol. 10, p. 80, 2023; <https://doi.org/10.3390/photonics10010080>.
- [43] D. Oser, S. Tanzilli, C. A. R. F. Mazeas, X. L. Roux, G. Sauder, X. Hua, O. Alibert, L. Vivien and L. L. E. Cassan, "High quality photonic entanglement out of a stand-alone silicon chip," *Nature Partner Journal Quantum Information*, vol. 6, 2020;.
- [44] K. Takeya, T. Minami, H. Okano, S. R. Tripathi and K. Kawase, "Enhanced Cherenkov phase matching terahertz wave generation via a magnesium oxide doped lithium niobate ridged waveguide crystal," *APL Photonics*, vol. 2, p. 016102, 2016.
- [45] N. Courjal, M.-P. Bernal, A. Caspar, G. Ulliac, F. Bassignot, L. Gauthier-Manuel et M. Suarez, Lithium Niobate Optical Waveguides and Microwaveguides, Emerging Waveguide Technology., Kok Yeow You, IntechOpen., 2017; DOI: 10.5772/intechopen.76.
- [46] P. Kharel, G. Reimer, K. Luke, L. He and M. Zhang, "Breaking] P. Kharel, C. ReimerBreaking voltage-bandwidth limits in integrated lithium niobate modulators using micro-structured electrodes," *Optica*, vol. 8, pp. 357-363, 2021.
- [47] G. Chen, K. Chen, R. Gan, Z. Ruan, Z. Wang, P. Huang, C. Lu, A. Pak, T. Lu, D. Dai, C. Guo and L. Liu, "High performance thin-film lithium niobate modulator on a silicon substrate using periodic capacitively loaded traveling-wave electrode," *APL. Photon.*, vol. 7, p. 020103, 2022;doi: 10.1063/5.0077232.
- [48] I. Krasnokutskaya, R. J. Chapman, J.-L. L. Tambasco and A. Peruzzo, "High coupling efficiency grating couplers on lithium niobate on insulator," *Optics Express*, vol. 27, pp. 17681-17685, 2019; <https://doi.org/10.1364/OE.27.017681>.
- [49] S. Ura, S. Murata, Y. Awatsuji et K. Kintaka, «Design of resonance grating coupler,» *Opt. Express*, vol. 16, pp. 12207-12213, 2008.
- [50] A. Monmayrant, S. Calvez, P. F. Calmon, P. Dubreuil, S. Charlot, A. P. E. Fehrembach and O. Gauthier-Lafaye, "Cavity resonator-integrated guided-mode resonance filters with on-chip electro- and thermo-optic tuning," *Opt. Express*, vol. 30, p. 16669, 2022;.

Document Administratif et Financier - Notice

Notice d'utilisation du "Document de soumission Administratif et Financier"

Les bénéficiaires des aides sont des établissements d'enseignement supérieur et/ou de recherche ou des groupements de ces établissements. Les établissements privés contribuant aux missions de service public de l'enseignement supérieur et de la recherche, relevant de l'article L.732-1 du Code de l'Éducation, pourront être financés après analyse de l'ANR, avis du MESR et validation par le SGPI. Les entreprises pourront avoir le statut d'Établissement partenaire dans les projets mais ne bénéficieront pas de financement au titre de cette participation.

RECOMMANDATIONS GENERALES

Ce document est prévu pour recueillir les informations liées au projet, le remplissage des totaux se faisant automatiquement (cellules non colorées).

Cependant, si vous avez besoin de modifier le document, merci de contacter l'ANR : PEPR-Electronique@agencerecherche.fr

Seules les cellules sur fond gris des onglets "VoletGeneral", "Part1-Coord", "Part2", "Part3"... sont à renseigner. Les tableaux récapitulatifs du "Volet général" ainsi que toutes les cellules sur fond blanc sont remplis automatiquement à partir des données fournies dans les autres onglets.

Tous les montants financiers sont en € et hors taxes (HT) majorés, le cas échéant, de la TVA non récupérable.

1 - Onglet "VoletGeneral"

L'acronyme doit permettre d'identifier rapidement le projet, il est repris automatiquement sur toutes les pages du présent document. Les tableaux récapitulatifs reprennent les éléments financiers de l'ensemble des partenaires, ils sont remplis automatiquement.

2 - Onglets "Part1-Coord", "Part2", "Part3"...

*Chaque établissement et partenaire renseigne l'onglet qui lui correspond.
Merci de régler le type de partenaire en premier lieu afin d'activer les bonnes cases de l'onglet.*

2-1 Identification du partenaire

Le nom complet de l'établissement et son sigle seront repris automatiquement dans certains tableaux récapitulatifs et devront être identiques à ceux saisis sur le site de soumission (merci de respecter l'ordre de renseignement en ligne, sur le présent document et sur le document scientifique). L'établissement coordinateur doit être identifié comme le partenaire n°1 (Part1-Coord).

2-2 Demande financière

Renseigner les tableaux par nature de demande. La justification de cette dernière sera à effectuer dans le document scientifique. Les calculs s'effectuent automatiquement : les cellules sur fond blanc comportant des formules sont verrouillées.

Indiquer le montant total des dépenses dans la colonne "Coût unitaire" (en précisant leur quantité ou nombre de personnes.mois) ou "Coût total" et les montants demandés au titre de l'aide dans la colonne "Aide demandée". La différence constituera les apports du partenaire pour l'ensemble des natures de dépenses. Nous vous rappelons que les apports doivent être autres que des subventions France 2030/PIA.

2-2-1 Equipement

Les dépenses d'équipements (achat matériels et immatériels) en lien direct avec le projet sont éligibles.

Il s'agit du coût total de ces matériels.

Sont considérées comme dépenses d'équipement les achats matériels ou immatériels immobilisés dans la comptabilité de chacun des Partenaires du Projet. La classification « dépenses d'équipement » est identique à la comptabilité de l'établissement.

Ces dépenses peuvent concerner les coûts d'aménagement de surfaces nécessaires à l'installation d'équipements. Ces dépenses ne peuvent pas concerner les coûts de construction.

Le seuil d'immobilisation étant à la discrétion de l'établissement, il devra être indiqué en entête de cette catégorie dans les relevés de dépenses.

Les montants sont à renseigner **hors taxes (HT)** augmentés éventuellement de la TVA non récupérable. En conséquence, les montants indiqués doivent prendre en compte la proportion x de TVA non récupérable de l'organisme [coût = coût HT * (1 + x * 0.20)].

2-2-2 Personnel

Renseigner le type de poste, le type de contrat, le coût mensuel qui est le **coût total correspondant (salaires bruts, primes diverses, et cotisations patronales, y compris la taxe sur les salaires)**, et le nombre total de **personnes.mois** (Nb. p.mois) **par tâche** (une personne à temps plein pendant un an = 12 personnes.mois). Le coût total sur la totalité de la durée est calculé automatiquement. Renseigner ensuite le montant demandé à l'ANR dans la colonne "Aide demandée". La différence constituera les apports du partenaire.

Les dépenses de personnel permanent, y compris fonctionnaire, et non permanent prises en compte dans l'assiette ne concernent que la quotité de travail de ces personnels qui est directement affectée au projet.

Seules les dépenses de personnel fonctionnaire impliqué dans le pilotage du programme ou le pilotage des projets partie intégrante du programme sont éligibles et ne peuvent dépasser 40 % du total des dépenses éligibles, sauf exceptions justifiées.

Les primes et heures complémentaires sont éligibles pour l'ensemble des personnels impliqués dans les projets y compris les personnels fonctionnaires non impliqués dans le pilotage.

Les quotes-parts de personnels relevant de fonctions supports sont admises.

Dans le cas d'une modulation du service d'enseignement des enseignants-chercheurs ou des enseignants impliqués dans le projet, le coût de leur remplacement lié à la réduction de leur temps de service d'enseignement est éligible dans la limite annuelle de 50 000 euros.

Pour demander de l'aide pour des personnels fonctionnaires concourant au projet, chaque établissement employeur doit choisir :

- Soit de remplir une fiche complète (un onglet de cet Excel) s'il demande de l'aide sur d'autres postes de dépense et fait des apports au projet. Le taux maximum de 40% est calculé sur cette fiche.
- Soit de remplir le tableau « Autres établissements déclarant des personnels fonctionnaires » à la fin des fiches complètes des établissements gestionnaires* des unités auxquelles sont rattachés ses personnels. L'établissement employeur ne peut alors faire ni apport (autre que du personnel fonctionnaire), ni autre dépense. Le taux maximum de 40% est alors calculé sur la fiche de chaque établissement (gestionnaire) en incluant ces personnels.

Dans les deux cas, l'établissement sera pleinement partenaire du projet et devra notamment signer l'onglet et participer à l'accord de consortium.

(* Gestionnaire s'entend ici au sens des délégations de gestion entre tutelles d'une UMR, et non au sens d'établissement gestionnaire comme défini dans le règlement financier des PEPR)

2-2-3 Fonctionnement, prestation de service et facturation interne

Les montants sont à renseigner hors taxes (HT) augmentés éventuellement de la TVA non récupérable. En conséquence, les montants indiqués doivent prendre en compte la proportion x de TVA non récupérable fonction de l'organisme [coût = coût HT * (1 + x * 0.20)].

Les Etablissements partenaires peuvent faire exécuter des prestations par des tiers extérieurs au projet. Le coût de ces prestations figure de façon individualisée parmi les dépenses de l'opération. Après accord de l'ANR, certaines prestations peuvent être réalisées par des Etablissements partenaires du projet.

2-2-4 Frais généraux

Une partie des frais d'administration générale imputables au projet peut figurer parmi les dépenses éligibles.

Ces frais ont un caractère forfaitaire et sont plafonnés à 20 % des dépenses éligibles réalisées dans la limite de l'aide accordée au projet, hors frais généraux.

2-2-5 Frais d'environnement

Cette partie concerne exclusivement les établissements publics financés sur la base du coût marginal.

Pour le calcul du coût complet, il faut ajouter aux coûts salariaux totaux des personnels leurs frais d'environnement (ex coûts d'infrastructures). Les frais d'environnement sont égaux au produit de ces coûts salariaux totaux par le taux d'environnement propre à l'organisme. Les frais d'environnement sont calculés automatiquement.

ex : pour un institut dont le taux d'environnement est à l'heure actuelle de 80 % : vous devez alors renseigner la valeur du taux d'environnement (ex : inscrire 80 pour un taux de 80 %) de l'organisme assurant la tutelle de gestion du partenaire pour le projet. Le taux étant propre à l'organisme, vous devez le consulter pour connaître le taux applicable.

2-2-6 Coût complet, aide demandée

Le **coût complet** correspondant à la participation du partenaire est calculé automatiquement à partir de l'ensemble des données rentrées dans les tableaux, du montant des frais généraux déclarés et des frais d'environnement pour les organismes publics financés sur la base du coût marginal.

Le montant de l'**aide demandée** est calculé automatiquement à partir des données rentrées dans le tableau et du montant des frais généraux dans la limite d'un montant maximum.

2-3 Autres soutiens financiers liés au projet déposé

Le tableau "Autres soutiens financiers sollicités ou obtenus liés au projet" doit faire l'objet d'une attention particulière : en effet, ce tableau doit indiquer tous les cofinancements sollicités ou obtenus en relation avec le projet déposé. L'identification du financeur et la nature du financement doivent être clairement précisées.



N° de dossier	
Acronyme	NanoFILN
Nombre de partenaires	3
2023	

Volet général

Fiche d'identité du projet

Acronyme du projet	NanoFILN
Titre du projet <i>en français</i>	Nanophotonique sur films de LiNbO3
Titre du projet <i>en anglais</i>	
Durée du projet (en mois)	48

Responsable du projet

Nom	Chauvet
Prénom	Mathieu
Courriel	mathieu.chauvet@univ-fcomte.fr
Téléphone	+33 381666409

Adresse postale professionnelle

Bât, n° bureau	Institut Femto-ST, Bureau N1-28
Numéro de voie	15B
Type, nom de voie	Avenue des Montboucons
Code postal	25030
Ville	Besancon
Cedex	
Pays	France

Nom complet de l'établissement coordinateur

Nom complet du partenaire	Université de Franche-Comté
Sigle du partenaire	uFC
Type de partenaire	EPSCP
Numéro SIRET	19251215000363

Personne habilitée à engager juridiquement l'établissement coordinateur

Genre	Madame
Nom	Woronoff-Lemsi
Prénom	Marie-Christine
Qualité	Présidente
Courriel	president@univ-fcomte.fr
Téléphone	0381665597

Récapitulatif des demandes financières par destination

Description	Coût total	Aide demandée	Apport
Equipement	425 000,00 €	425 000,00 €	0,00 €
Personnel	2 382 329,42 €	1 281 649,42 €	1 100 680,00 €
Fonctionnement	666 596,37 €	666 596,37 €	0,00 €
Prestations de services externes	20 000,00 €	20 000,00 €	0,00 €
Facturation interne	60 000,00 €	60 000,00 €	0,00 €
Frais généraux	490 649,16 €	490 649,16 €	
Frais d'environnement	1 190 360,38 €		1 190 360,38 €
Total (les montants sont arrondis à l'euro supérieur)	5 234 936 €	2 943 895 €	2 291 041 €

Récapitulatif des demandes financières par partenaire

Type de partenaire	Nom du partenaire	Coût total	Aide demandée	Apport
EPSCP	Université de Franche-Comté	2 198 850,00 €	1 320 600,00 €	878 250,00 €

Facturation interne

Description	Coût total	Aide demandée	Apport
Total facturation interne	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Synthèse de la demande financière

		Coût complet	Aide demandée	Apport
Total hors frais généraux		1 497 500,00 €	1 100 500,00 €	397 000,00 €
Frais généraux (max : 20% pour l'ensemble du projet)	20 % (taux)	220 100,00 €	220 100,00 €	
Frais d'environnement	50 % (taux)	481 250,00 €		481 250,00 €
Total		2 198 850,00 €	1 320 600,00 €	878 250,00 €

Aide totale demandée pour des personnels fonctionnaires : 0 €

Aide demandée pers fonctionnaire / Aide demandée hors frais généraux (max 40%) : 0 %

Autres soutiens financiers sollicités ou obtenus liés au projet

Nom des financeurs	Nature et objet du financement	Sollicité	Obtenu
Hors cofinancements européens			
Total des autres financements (hors Europe)		0,00 €	0,00 €
Cofinancements européens (au sens de l'art. 4.2 du règlement financier)			
Total des financements européens		0,00 €	0,00 €
Total des co-financements		0,00 €	0,00 €

Commentaires (le cas échéant)

l'administration des dossiers.

Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès et de rectification des données personnelles les concernant. Les personnes concernées peuvent exercer ce droit en s'adressant à l'ANR (voir coordonnées dans le texte de l'appel à projets).

Engagement de l'établissement coordinateur

Chaque signataire, ayant le pouvoir d'engager juridiquement l'établissement ci-dessus ou l'un des partenaires détaillés ci-dessous, déclare pour l'établissement le concernant :

- avoir pris connaissance du dossier complet de soumission (document scientifique, y compris son annexe, et document administratif et financier)

tel que déposé sur le site de l'ANR et du règlement relatif aux modalités d'attribution des aides au titre de l'action « Programmes et

- m'engager à mettre en œuvre tous les moyens nécessaires à la réalisation du projet tels que décrits dans le dossier de soumission, dans les conditions prévues par le règlement relatif aux modalités d'attribution des aides précité

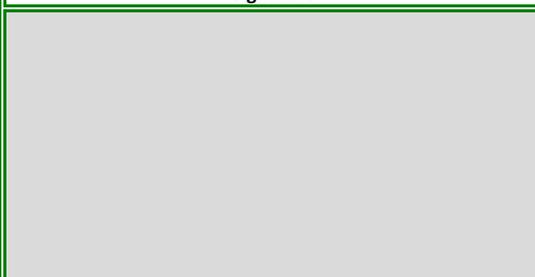
- m'engager à mettre en œuvre tous les moyens nécessaires à la réalisation du projet tels que décrits dans le dossier de soumission, dans les conditions

- m'engager à respecter les engagements financiers tels que détaillés dans le document administratif et financier du document de soumission déposé

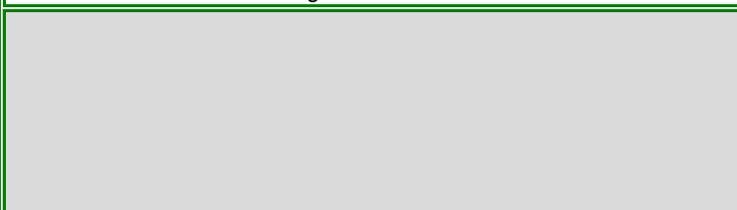
conformité avec tous les lois et règlements en vigueur applicables ; à mettre à disposition des personnels engagés dans la réalisation du projet les surfaces de travail nécessaires à l'accomplissement de leurs missions pendant la durée du projet

- souscrire aux obligations qui découlent du financement du projet par l'ANR, notamment à des fins d'évaluation globale de l'action.

Responsable du projet	
Prénom	Nom
Mathieu	Chauvet

Signature


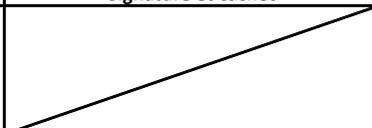
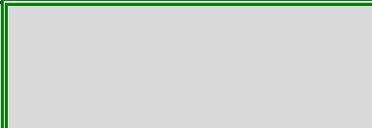
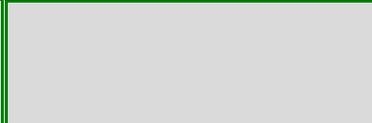
Personne habilitée à engager l'établissement coordinateur	
Prénom	Nom
Marie-Christine	Woronoff-Lemsi
Qualité	
Présidente	

Signature et cachet


Projet : NanoFILN

Nom ets : Université de Franche-Comté

Autres établissements déclarant des personnels fonctionnaires sur la fiche du partenaire coordinateur

Établissement (Nom complet et forme juridique)	Sigle de l'établissement	SIRET	Total demande fonctionnaire (€)	Prénom, nom et fonction de la personne habilitée puis Signature et cachet
Université de Franche-Comté (EPSCP)	uFC	19251215000363	- €	
Ecole Nationale Supérieure de mécanique et des microtechniques (EPSCP)	ENSMM	19250082500026	- €	
			- €	

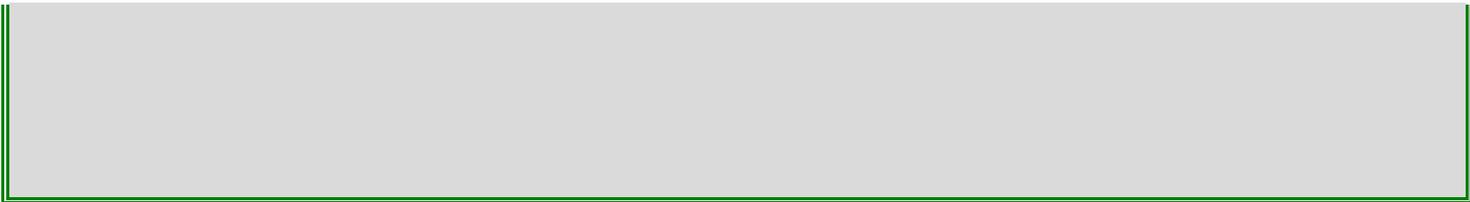
	Étab CCC		- €	
	Étab DDD		- €	
	Étab EEE		- €	
	Étab FFF		- €	
	Étab GGG		- €	

Fonctionnement (si le partenaire récupère la TVA, indiquer le coût hors TVA)

Description	Coût total	Aide demandée	Apport
Coûts d'infrastructures ou de plateformes			
Sous-total coûts d'infrastructures ou de plateformes	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Missions			
Réunion & conf. internationales, Visites partenaires (LAAS)	10 000,00 €	10 000,00 €	0,00 €
Réunion & conf. internationales, Visites partenaires (INPHYNI)	20 000,00 €	20 000,00 €	0,00 €
Réunion & conf. internationales, Visites partenaires (C2N)	10 000,00 €	10 000,00 €	0,00 €
Sous-total missions	40 000,00 €	40 000,00 €	0,00 €
Autres dépenses de fonctionnement			
Consommable, Composants optiques et électronique (LAAS)	35 000,00 €	35 000,00 €	0,00 €
Acces et consommable salle blanche, Composants optiques et électronique (INPHYNI)	20 000,00 €	20 000,00 €	0,00 €
Acces et consommable salle blanche, Composants optiques et électronique (C2N)	60 000,00 €	60 000,00 €	0,00 €
Sous-total autres dépenses de fonctionnement	115 000,00 €	115 000,00 €	0,00 €
	Coût total	Aide demandée	Apport
Total fonctionnement	155 000,00 €	155 000,00 €	0,00 €

Prestations de services externes

Description	Coût total	Aide demandée	Apport
			0,00 €
INPHYNI - Accès et consommables salles blanches Renatech	20 000,00 €	20 000,00 €	0,00 €



Les informations personnelles transmises dans ces documents sont obligatoires et seront conservées en fichiers par l'ANR pour assurer la conduite opérationnelle de l'évaluation et l'administration des dossiers.
Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès et de rectification des données personnelles les concernant. Les personnes concernées peuvent exercer ce droit en s'adressant à l'ANR (voir coordonnées dans le texte de l'appel à projets).

Engagement de l'établissement partenaire

Chaque signataire, ayant le pouvoir d'engager juridiquement l'établissement ci-dessus ou l'un des partenaires détaillés ci-dessous, déclare pour l'établissement le concernant :

- avoir pris connaissance du dossier complet de soumission (document scientifique, y compris son annexe, et document administratif et financier) tel que déposé sur le site de l'ANR et du règlement relatif aux modalités d'attribution des aides au titre de l'action « Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche »
- m'engager à négocier et signer un accord de consortium (ou équivalent) et mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour finaliser ce document dans les conditions et délais prévus par le règlement relatif aux modalités d'attribution des aides précité
- m'engager à mettre en œuvre tous les moyens nécessaires à la réalisation du projet tels que décrits dans le dossier de soumission, dans les conditions prévues par le règlement relatif aux modalités d'attribution des aides précité
- m'engager à respecter les engagements financiers tels que détaillés dans le document administratif et financier du document de soumission déposé
- m'engager à mettre en œuvre les recrutements sur contrat des personnels nécessaires à la réalisation de la proposition déposée et cela en conformité avec tous les lois et règlements en vigueur applicables ; à mettre à disposition des personnels engagés dans la réalisation du projet les surfaces de travail nécessaires à l'accomplissement de leurs missions pendant la durée du projet
- souscrire aux obligations qui découlent du financement du projet par l'ANR, notamment à des fins d'évaluation globale de l'action.

Personne habilitée à engager l'établissement partenaire	
Prénom	Nom
Jocelyn	MERE
Qualité	
Délégué Régional	

Signature et cachet

Projet : NanoFiLN

Nom ets : Centre National de la Recherche Scientifique

Autres établissements déclarant des personnels statutaires sur la fiche de ce partenaire

Établissement (Nom complet et forme juridique)	Sigle de l'établissement	SIRET	Total demande fonctionnaire (€)	Prénom, nom et fonction de la personne habilitée puis Signature et cachet

Centre National de la Recherche Scientifique (EPST)	CNRS	18008901300676	- €	
UNIVERSITE COTE D'AZUR (EPSCP)	UCA	13002566100013	- €	
UNIVERSITE DE PARIS CITE (EPSCP)	UPC	13002573700011	- €	
			- €	
	Étab DDD		- €	
	Étab EEE		- €	
	Étab FFF		- €	
	Étab GGG		- €	

Identification de l'établissement partenaire

Acronyme	NanoFILN
Partenaire	Part3

Nom complet du partenaire

Nom complet du partenaire	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Sigle du partenaire	CEA/LETI
Type de partenaire	EPIC
Numéro SIRET	77568501900298

Personne habilitée à engager juridiquement l'établissement partenaire

Genre	Monsieur
Nom	DAUVE
Prénom	Sébastien
Qualité	Directeur du LETI
Courriel	sebastien.dauve@cea.fr
Téléphone	+33 04 38 78 62 83

Correspondant du projet

Nom	LEFORESTIER
Prénom	Soizic
Courriel	soazig.leforestier@cea.fr
Téléphone	+33 04 38 78 65 35

Demande financière ANR détaillée du projet

Équipement (coût unitaire HT - si le partenaire récupère la TVA, indiquer le coût hors TVA)

Seuil d'immobilisation propre à l'établissement

Veillez renseigner le seuil d'immobilisation avant de renseigner la colonne Coût unitaire

Description	Coût unitaire	Quantité	Coût total	Aide demandée	Apport
Total équipement			0,00 €	0,00 €	0,00 €

Personnel

Description (CR, IE, ...)	Type de contrat (CDD, CDI, ...)	Coût unitaire	Nb. p.mois	Coût total	Aide demandée	Apport
Personnel sans demande de financement (hors fonctionnaires)						



Les informations personnelles transmises dans ces documents sont obligatoires et seront conservées en fichiers par l'ANR pour assurer la conduite opérationnelle de l'évaluation et l'administration des dossiers.
Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès et de rectification des données personnelles les concernant. Les personnes concernées peuvent exercer ce droit en s'adressant à l'ANR (voir coordonnées dans le texte de l'appel à projets).

Engagement de l'établissement partenaire

Chaque signataire, ayant le pouvoir d'engager juridiquement l'établissement ci-dessus ou l'un des partenaires détaillés ci-dessous, déclare pour l'établissement le concernant :

- avoir pris connaissance du dossier complet de soumission (document scientifique, y compris son annexe, et document administratif et financier) tel que déposé sur le site de l'ANR et du règlement relatif aux modalités d'attribution des aides au titre de l'action « Programmes et Équipements Prioritaires de Recherche »
- m'engager à négocier et signer un accord de consortium (ou équivalent) et mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour finaliser ce document dans les conditions et délais prévus par le règlement relatif aux modalités d'attribution des aides précité
- m'engager à mettre en œuvre tous les moyens nécessaires à la réalisation du projet tels que décrits dans le dossier de soumission, dans les conditions prévues par le règlement relatif aux modalités d'attribution des aides précité
- m'engager à respecter les engagements financiers tels que détaillés dans le document administratif et financier du document de soumission déposé
- m'engager à mettre en œuvre les recrutements sur contrat des personnels nécessaires à la réalisation de la proposition déposée et cela en conformité avec tous les lois et règlements en vigueur applicables ; à mettre à disposition des personnels engagés dans la réalisation du projet les surfaces de travail nécessaires à l'accomplissement de leurs missions pendant la durée du projet
- souscrire aux obligations qui découlent du financement du projet par l'ANR, notamment à des fins d'évaluation globale de l'action.

Personne habilitée à engager l'établissement partenaire	
Prénom	Nom
Sébastien	DAUVE
Qualité	
Directeur du LETI	

Signature et cachet

Projet : NanoFiLN
Nom ets : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES

Autres établissements déclarant des personnels fonctionnaires sur la fiche de ce partenaire

Établissement (Nom complet et forme juridique)	Sigle de l'établissement	SIRET	Total demande fonctionnaire (€)	Prénom, nom et fonction de la personne habilitée puis Signature et cachet

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES (EPIC)	CEA/LETI	77568501900298	- €	
	Étab AAA		- €	
	Étab BBB		- €	
	Étab CCC		- €	
	Étab DDD		- €	
	Étab EEE		- €	
	Étab FFF		- €	
	Étab GGG		- €	