



Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPÉRY		
	Projet NANO		
			Page 1/66

§ 	Soumission de de projet	
----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Dénomination de l'IRT	IRT SAINT EXUPÉRY – IRT AESE
Projet	NANO
Nouveau / Actualisation	Actualisation : cette description de projet est une mise à jour du document référencé IRT_AESE_DOCE_2013_04_08_Annexe Fiche Projet NANO R8-0 ; Elle prend en compte le nouveau modèle ANR de soumission et précise/amende les travaux à mener dans chacun des lots (<u>cf. préambule pour détail</u>)
Mots clés	nanomatériaux – nanotechnologie, assemblage basse température, adéquation de performances HIREL, jet printing
Site web de l'IRT	www.irt-saintexupéry.com


Rédacteur de la fiche d'instruction		
Nom, Prénom	MONFRAIX Philippe	
Fonction	Chef de Projet	
Téléphone	05 61 00 67 70	
Courriel	philippe.monfraix@irt-saintexupéry.com	
Date de rédaction		
Signature		
Responsable Domaine Matériau Delphine CARRONNIER	Responsable Qualité Stéphane BÉNAZET	Responsable Opérations Dominique ROUSSELET

© IRT AESE "Saint Exupéry" - All rights reserved Confidential and proprietary document. This document and all information contained herein is the sole property of IRT AESE "Saint Exupéry". No intellectual property rights are granted by the delivery of this document or the disclosure of its content. This document shall not be reproduced or disclosed to a third party without the express written consent of IRT AESE "Saint Exupéry". This document and its content shall not be used for any purpose other than that for which it is supplied. IRT AESE "Saint Exupéry" and its logo are registered trademarks.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT	SAINT EXUPERY	
	Projet	NANO	Page 2/66

Sommaire

1. Données administratives	5
1.1. Calendrier prévisionnel	5
1.2. Qualification du projet	5
1.3. Financements publics autres que le PIA	5
1.4. Responsables du projet à l'IRT – si désignés	6
1.5. Coordinateur du projet si autre que l'IRT (non applicable)	6
1.6. Partenaires du projet	7
1.7. Sous-traitants de l'IRT pour le projet	7
1.8. Accord de consortium	7
2. Justification du financement public	8
2.1. Marchés et applications visées	8
2.2. Dimension partenariale	9
2.3. Incitativité du financement pour l'IRT et ses partenaires éventuels	11
2.4. Demandes de financement antérieures pour le même projet	12
2.5. Financements publics octroyés à des projets similaires	12
3. Impact du projet pour l'IRT	13
3.1. Positionnement du projet dans la feuille de route technologique de l'IRT	13
3.2. Création d'actifs pour l'IRT	13
4. Caractéristiques du projet	15
4.1. Principaux objectifs scientifiques et techniques, résultats attendus	15
4.2. Positionnement du projet par rapport à l'état de l'art	20
4.3. Bibliographie	23
4.4. Dépendances ou indépendance par rapport à d'autres projets	24
5. Moyens prévisionnels	25
5.1. Ressources humaines	25
5.2. Principaux équipements	26
5.3. Propriété intellectuelle antérieure exploitée par le projet	27
6. Description des travaux prévus	28
6.1. Méthode et plan de travail	28
6.2. Liste des lots et tâches	30
6.3. Jalons et articulation des lots et tâches	30
7. Détail des travaux par lots	33
7.1. Lot 1 – Etat de l'art et cahiers des charges (spécifications) techniques (lot de recherche en propre IRT)	33
7.2. Lot 2 – Revue et choix des approches techniques (lot collaboratif)	40
7.3. Lot 3 – Synthèse de particules (lot collaboratif)	44
7.4. Lot 4 – Formulation de crème à braser (lot collaboratif)	48
7.5. Lot 5 – Changement d'échelle (lot de recherche en propre IRT)	52
7.6. Lot 6 – Caractérisations (lot de recherche en propre IRT)	55
7.7. Lot 7 – Conception et réalisation des pièces élémentaires (lot de recherche en propre IRT)	59
7.8. Lot 8 – Evaluation et optimisation des procédés technologiques	62

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPÉRY		
	Projet NANO		Page 3/66

PREAMBULE

Le projet NANO initialement proposé à l'ANR sous la référence «IRT_AESE_DOCE_2013_04_08_Annexe Fiche Projet NANO R8-0 » comportait deux lots techniques sur les sujets suivants :

- Lot 1 : élaboration de matériaux nano-particulaires permettant de réaliser :
 - des interfaces thermiques à haute conductivité thermique ($>100\text{WK}^{-1}.\text{m}^{-1}$)
 - des interfaces à haute conductivité électrique ($>5.10^5\text{S/m}$)
 - des soudures à température modérée ($<300^\circ\text{C}$) et basse pression ($<0.5\text{MPa}$) avec des propriétés thermomécaniques maîtrisées
- Lot 2 : disposer d'une impression type jet d'encre (avec une encre basée sur le développement des matériaux nano-particulaires du lot 1) sur substrat souple pour développer une filière permettant (à terme) l'intégration compacte de composants actifs/passifs

Compte tenu de la période de gestation de l'IRT Saint Exupéry (ex IRT AESE), ces deux activités ne sont plus pertinentes pour les motifs suivants :


- Lot 1 : cette activité a finalement été scientifiquement couverte par Thales Alenia Space et l'Institut Carnot CIRIMAT avec la synthèse d'oxalates d'argent présentant des résultats en accord avec le cahier des charges initial
- Lot 2 : aucun intérêt résiduel de la part des industriels de ce projet, de très nombreux brevets existant maintenant dans ce domaine et également des solutions commerciales sont déjà proposées par exemple en Corée (CEMS, Inc.), aux Etats Unis (Methode Electronics, Inc.) et en Allemagne (Bayer MaterialScience AG).

Concernant cette nouvelle proposition, le nouveau projet NANO s'inspire toutefois :

- D'une idée scientifique commune : confirmer une nouvelle fois que le passage à l'état nanométrique permet d'abaisser la température de fusion ou de frittage des métaux
- D'une approche technologique commune : évaluation du jet printing pour crème à braser

Pour des activités de R&D originales, en accord avec les besoins business des industriels et permettent d'investiguer des approches prometteuses à court, moyen et long terme pour l'industrie.

Nous présentons dans la suite du document les nouvelles thématiques adressées ainsi que la nouvelle organisation mise en place (passage de 2 lots techniques de recherche en propre à l'IRT à 8 lots techniques dont certains (3 lots) en mode collaboratif).


Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPÉRY		
	Projet	NANO	Page 4/66

En effet, le projet NANO est une collaboration de recherche et de développement dont :

- certaines activités techniques sont des activités de recherche en propre de l'IRT Saint Exupéry
- et dont d'autres activités techniques sont des activités de recherches collaboratives entre l'IRT Saint Exupéry, le CIRIMAT, INVENTEC, CONTINENTAL AUTOMOTIVE et THALES ALENIA SPACE.

Concernant les activités de recherche en propre de l'IRT Saint Exupéry, cela concerne exclusivement les activités techniques des Lot 1 et Lot 5 à Lot 8 de cette annexe technique. Ces activités sont régies dans leur ensemble par le Contrat de Projet de recherche en propre NANO. Par exemple, concernant les aspects de propriétés intellectuelles, ceux-ci seront régis par la Charte de Propriété Intellectuelle. Compte tenu de ressources en moyens et en personne non disponibles à l'IRT Saint Exupéry et disponibles chez certains partenaires, certaines tâches seront donc réalisées chez ces partenaires, moyennant le financement nécessaire pour couvrir au coût complet les frais engagés. Ces tâches apparaissent donc sous la dénomination de l'IRT, même si elles sont effectivement réalisées chez le partenaire et avec ses moyens humains, matériels et intellectuels.

Concernant les activités de recherche collaborative, cela concerne exclusivement les activités techniques des Lot 2, Lot 3 et Lot 4 de cette annexe technique. Ces activités sont régies dans leur ensemble par le Contrat de Collaboration du projet NANO. Par exemple, concernant les aspects de propriétés intellectuelles, ceux-ci seront régis par ce Contrat de Collaboration du projet NANO. Pour ces activités, l'IRT et les autres Parties ont défini un partage des coûts des travaux. Dans ce cas, les tâches apparaissent clairement sous la dénomination de la Partie qui les effectue.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPÉRY		
	Projet NANO		
			Page 5/66

1. DONNEES ADMINISTRATIVES

1.1. Calendrier prévisionnel

Date de commencement des travaux	01/01/2014
Durée prévisionnelle (mois)	48
Date d'achèvement prévisionnelle	31/12/2017

1.2. Qualification du projet

Qualification au sens de la note méthodologique (1)	AP	
Qualifications communautaires applicables (2)	RF	OUI
	RI	OUI
	DE	NON
Projet collaboratif au sens communautaire (3)	OUI	

(1) Qualification relative à la note méthodologique :

PR (recherche propre), AP (autre recherche partenariale = collaborative), RC (recherche coopérative),

(2) RF (recherche fondamentale), RI (recherche industrielle), DE (développement expérimental) ; indiquer « oui » si la qualification s'applique à au moins l'un des lots ou l'une des tâches du projet, « non » dans le cas contraire

(3) Oui / Non ; dans le cas positif, des justificatifs des travaux des partenaires sont nécessaires.


1.3. Financements publics autres que le PIA

Indiquer les financements publics spécifiques au projet, y compris la quote-part de financements d'investissements comptabilisés comme financement des dépenses. Ne pas indiquer la quote-part affectée au projet des financements des fondateurs ou membres du secteur public de l'IRT s'ils ne sont pas spécifiquement affectés au projet.

Financement (1)	Montant k€	Stade (2)
NON APPLICABLE		

(1) Préciser le financeur (: collectivités, FEDER etc.). Indiquer si le financement est global, dédié au projet ou à un investissement.

(2) A : financement acquis, D : financement demandé, P : financement prévisionnel.


Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 6/66

1.4. Responsables du projet à l'IRT – si désignés

<u>Chef de projet</u>			
Nom	MONFRAIX	Prénom	Philippe
Courriel	philippe.monfraix@irt-saintexupery.com	Téléphone	05 61 00 67 70
Adresse	IRT Saint Exupéry MRV - 118, route de Narbonne - CS 44248		
Ville	Toulouse cedex 4	Code postal	31432
<u>Responsable scientifique, si différent du chef de projet</u>			
Nom	CARRONNIER	Prénom	Delphine
Courriel	Delphine.carronnier@irt-saintexupery.com	Téléphone	05 61 00 67 53
Adresse	IRT Saint Exupéry MRV - 118, route de Narbonne - CS 44248		
Ville	Toulouse cedex 4	Code postal	31432
<u>Responsable administratif, si différent du chef de projet</u>			
Nom	ROUSSELET	Prénom	Dominique
Courriel	dominique.rousselet@irt-saintexupery.com	Téléphone	05 61 00 67 72
Adresse	IRT Saint Exupéry MRV - 118, route de Narbonne - CS 44248		
Ville	Toulouse cedex 4	Code postal	31432

1.5. Coordinateur du projet si autre que l'IRT (non applicable)

<u>Organisme coordinateur</u>			
Nom			
Site web			
Adresse			
Ville		Code postal	
Pays			
<u>Responsable du projet</u>			
Nom		Prénom	
Courriel		Téléphone	
Adresse			
Ville		Code postal	
Pays			

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 7/66

1.6. Partenaires du projet

N'indiquer ici que les partenaires collaborant avec l'IRT avec leurs moyens propres pour le projet et sans recevoir de financement de l'IRT (hors compensation de mises à disposition de personnel ou de moyens)

Partenaire	Fond. (1)	Jurid. (2)	Statut EC (3)	Budg. Pro. (4)	Expl. (5)
CIRIMAT	Oui	Univ.	NEN	16%	Oui
INVENTEC	Non	ETI	ENT	6.5%	Oui
CONTINENTAL AUTOMOTIVE	Non	GG	ENT	0.5%	Oui
THALES ALENIA SPACE	Oui	GG	ENT	0.5%	Oui
Total % de dépenses des partenaires				23.5%	

(1) Fondateur de l'IRT Oui/Non

(2) Forme juridique

(3) Statut du point de vue communautaire : ENT (entreprise) NEN (non entreprise)

(4) Dépenses propres prévisionnelles du partenaire non financées par l'IRT, en % des dépenses totales du projet

Nota : doit être inférieur ou égal à 70% pour chaque partenaire d'un projet collaboratif

(5) Prévoit une exploitation industrielle ou commerciale directe des travaux Oui / Non

1.7. Sous-traitants de l'IRT pour le projet

Indiquer ici les tiers recevant du financement de l'IRT pour les travaux réalisés pour le compte de l'IRT dans le cadre du projet, à l'exclusion des mises à disposition de personnel.

Partenaire	Fond. (1)	Jurid. (2)	Statut EC (3)
THALES ALENIA SPACE	Oui	GG	ENT
CONTINENTAL	Non	GG	ENT
INVENTEC	Non	ETI	ENT

(1) Fondateur de l'IRT Oui/Non

(2) Forme juridique

(3) Statut du point de vue communautaire : ENT (entreprise) NEN (non entreprise)

1.8. Accord de consortium

Le projet fait-il l'objet d'un accord de consortium spécifique ? (oui/non) (1)	OUI
--------------------------------------------------------------------------------	-----

(1) Distinct des accords entre membres de l'IRT.

2. JUSTIFICATION DU FINANCEMENT PUBLIC

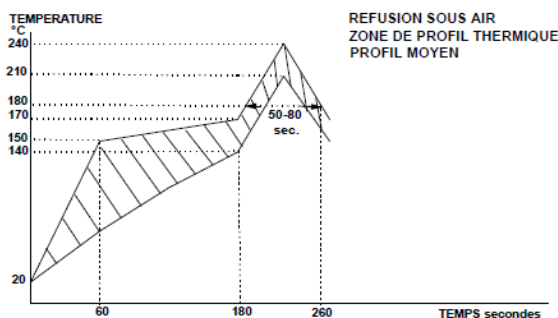
2.1. Marchés et applications visées

Indiquer les débouchés ainsi que les défaillances de marché auquel le projet répond.

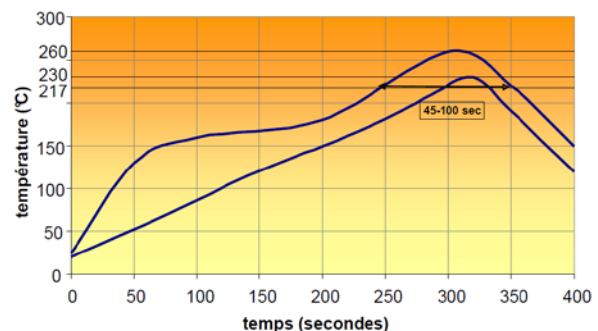
Partie mise à jour pour d'adapter à la réalité des nouvelles activités techniques définie en 2014.

Depuis le 1er juillet 2006, tout nouveau produit mis sur le marché dans l'Union européenne, qu'il soit importé ou fabriqué dans l'Union, doit être conforme à la directive européenne RoHS (2002/95/CE) qui vise à limiter l'utilisation de six substances dangereuses : le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome hexavalent, les polybromobiphényles (PBB) et les polybromodiphényléthers (PBDE). RoHS signifie « *Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment* », c'est-à-dire « restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques ».

La réduction du plomb concerne au premier chef les fabricants de matériel électronique. Ils doivent remplacer l'alliage de brasage actuel (riche en plomb) par un autre type d'alliage. Les alliages alternatifs les plus répandus utilisent l'étain (Sn), l'argent (Ag) et le cuivre (Cu), appelé également alliage SAC. Ils fondent toutefois à une température plus élevée (jusqu'à 220°C, soit 30 à 35 °C de plus que l'étain-plomb (183°C, le plus utilisé avant la directive) ou l'étain-plomb-argent (179°C, communément utilisé par le spatial en Europe).



Profil de refusion d'une brasure SnPbAg
(source INVENTEC)




Profil de refusion d'une brasure SAC305
(source INVENTEC)

Différence sur les profils de refusion entre une crème à braser au plomb et sans plomb.

Le changement de brasage a conduit à modifier certains matériels ou matériaux pour les adapter à une température de fusion plus élevée. Le choix des matériaux et des composants utilisés est un des éléments des stratégies d'entreprise. De fait, dans ces entreprises, plusieurs activités sont concernées : achats, R&D, marketing, qualité, formation, responsabilité sociale des entreprises, etc. Il s'agit d'une véritable remise en cause technologique qui influe fortement sur la qualité et la fiabilité des produits.

CONTINENTAL AUTOMOTIVE a mis en place, qualifié et produit depuis plusieurs années des équipements électroniques automobiles avec ces nouvelles contraintes. Il s'avère toutefois que les brasures sans plomb présentent, pour certains types de composants (BGA

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 9/66

plastiques, boîtiers QFN de grandes dimensions par exemple) des défaillances (rupture dans le joint brasé). De plus, le procédé sans Plomb développé est reconnu étant plus cher et plus gourmand en énergie du fait de l'augmentation de la température de refusion nécessaire et de la durée plus longue du procédé.

Le secteur spatial n'est pas concerné par la directive RoHS car il possède une exemption (sans date de butée) sur tous les équipements destinés à être définitivement lancés dans l'Espace. A ce jour, l'assemblage des composants se fait encore donc avec un alliage SnPb ou SnPbAg sur un circuit imprimé ayant une finition plombée elle aussi. Il existe cependant un effet indirect très prégnant sur la compétitivité : les composants disponibles en finition plombée deviennent de plus en plus spécifiques pour les fournisseurs, avec un coût induit considérable. Les composants qui ne sont pas toujours disponibles en finition plombée, doivent faire l'objet d'un traitement spécifique sur les terminaisons, rajoutant du temps de cycle. Ceci démontre par exemple une gestion des composants relativement complexe, avec le risque permanent d'obsolescence. Par ailleurs, si le secteur spatial devait se tourner vers une approche sans plomb, l'accroissement en température (30 à 50°C) ne serait pas trivial sur les composants utilisés (quel impact sur les colles utilisées dans les boîtiers céramiques hermétiques ?) et sur les circuits imprimés de report (effet de l'humidité, impact sur les finitions, impact sur le comportement des matériaux ?). Par ailleurs, à notre connaissance, pas ou peu d'expérience d'assemblage sans Plomb ont été réalisées dans le domaine spatial.

Dans le domaine aéronautique (comme dans d'autres secteurs certainement), les équipementiers doivent gérer les deux solutions en parallèle. En effet, ils doivent conserver les moyens de productions sur les solutions au Plomb pour les conceptions préalables aux contraintes RoHS et ont investi dans de nouveaux moyens adaptés au sans Plomb pour les nouvelles conceptions.

Par les industriels impliqués dans ce projet, les caractéristiques des marchés visés par ce contrat sont donc très contrastés (secteur du spatial avec de très faibles productions et secteur automobile sur de très grande production et forte cadence) mais avec la constante d'un environnement d'application de très haute fiabilité.


Nul doute également que d'autres secteurs (aéronautique, médical par exemple) seront fortement intéressés par les retombées en cas de résultats conformes aux objectifs.

2.2. Dimension partenariale

Le cas échéant, justifier le caractère partenarial du projet en expliquant notamment pourquoi la collaboration avec les partenaires est nécessaire et quelles sont leurs contributions prévues dans le projet.

Un des objectifs majeurs de ce projet est le développement d'un matériau permettant l'assemblage basse-température de composants électroniques sur circuit imprimé pour des applications de haute fiabilité. Ce matériau est constitué de poudres métalliques mélangées dans un produit de type gel.

Le CIRIMAT a développé, depuis plus de 20 ans, des compétences reconnues dans le domaine des oxalates. Ces composés peuvent générer des particules métalliques nanométriques lors de leur décomposition. Ces nanoparticules métalliques présentent une très forte propension au frittage à des températures nettement plus faibles que pour le métal à l'état massif. On peut citer par exemple, dans les derniers développements effectués et

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 10/66

breveté par Thales Alenia Space et les Tutelles du CIRIMAT, l'oxalate d'argent, dont la décomposition permet de fritter l'argent métallique à 300°C alors que la température de fusion de l'argent massif est de 961°C.

De son côté, INVENTEC est une société française née de la fusion des sociétés Promosol et Sotragal du Groupe Dehon, et sert les marchés de l'industrie manufacturière depuis plus de 40 ans. Une partie des efforts de INVENTEC est concentrée sur la performance technique de produits et des services pour les industries de haute technologie (électronique, aéronautique, équipements médicaux, mécanique de précision, formulation des aérosols, expansion des mousses, etc...). La Business Unit Electronique est le département concerné par le projet NANO, département en charge des produits/services destinés à l'assemblage des composants sur les circuits imprimés et au nettoyage des cartes. A ce titre, INVENTEC développe des crèmes à braser depuis plus de 25 ans qui répondent aux contraintes de production et aux exigences de fiabilité de ses clients.

Le partenariat d'INVENTEC avec le CIRIMAT sous la houlette de l'IRT portant les intérêts et contraintes industrielles dans un cadre collaboratif est donc un passage naturel afin de préserver les éventuels retours de propriété intellectuelle affairant à ce type de développement. Le cahier des charges de ce matériau sera défini dans le Lot 1 (projet de recherche en propre). La feuille de route technique précisant les développements à suivre sera définie dans le Lot 2 (projet en mode collaboratif). Les poudres seront synthétisées dans le Lot 3 (projet en mode collaboratif) par l'Institut Carnot CIRIMAT. La crème à braser intégrant ces charges de l'Institut Carnot CIRIMAT sera formulée dans le Lot 4 (projet en mode collaboratif) par INVENTEC. Dans les lots suivants (5 à 10), le matériau développé sera caractérisé intrinsèquement et au travers de véhicules de test représentatifs du besoin des industriels.

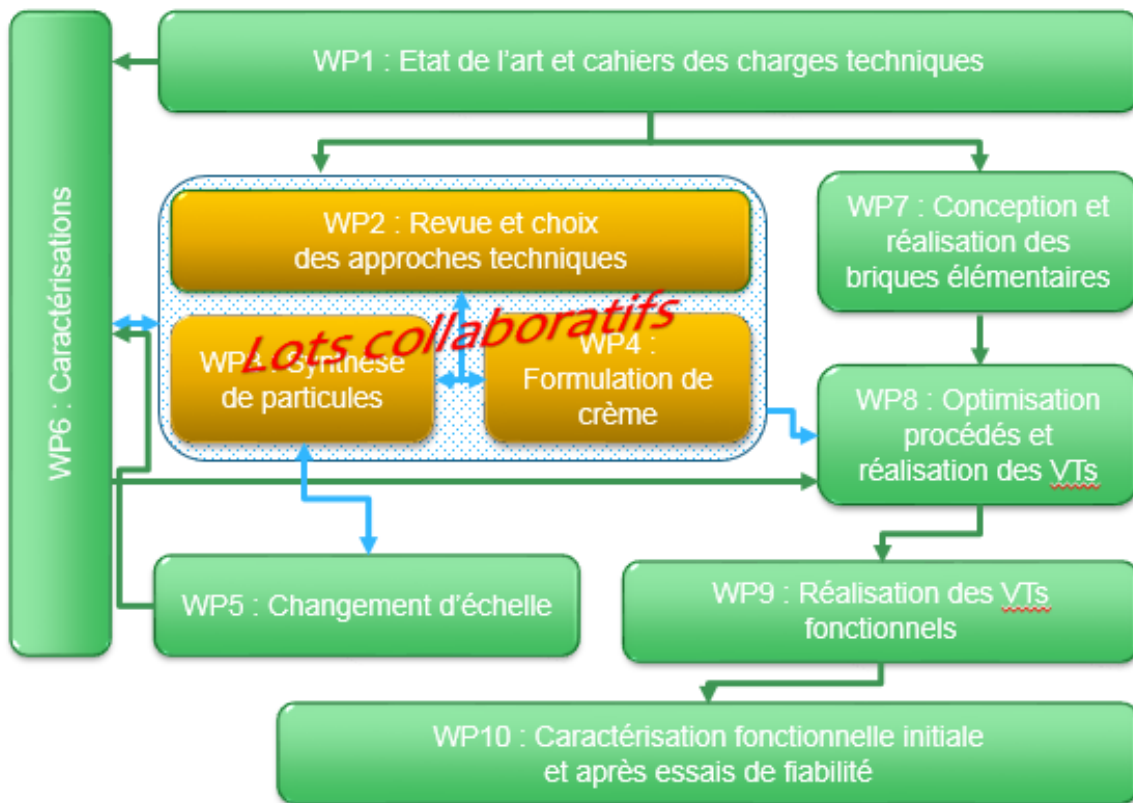


Diagramme de Pert du projet NANO.

2.3. Incitativité du financement pour l'IRT et ses partenaires éventuels


Justifier de l'incitativité du financement pour la réalisation du projet, sans la limiter au niveau de l'IRT mais en prenant en compte les membres de l'IRT et, le cas échéant, les partenaires du projet.

Les industriels du spatial et de l'aéronautique sont confrontés à un contexte rapidement évolutif et doivent donc développer des solutions matures dans des plannings de plus en plus courts. Leurs activités de recherche dans le domaine se limitent donc de plus en plus souvent à un incrément des solutions actuelles, ce qui ne répond pas toujours au besoin de rupture technologique attendu. L'aide publique est donc nécessaire pour acquérir les moyens et réaliser les activités de recherche permettant de franchir les sauts technologiques visés.

L'effet de synergie attendu de la fédération des compétences et efforts regroupés au sein de l'IRT devra permettre d'atteindre des objectifs communs, difficilement atteignables par chacun des acteurs, à titre individuel.

L'IRT est donc un intermédiaire indispensable entre les fournisseurs de technologies et les donneurs d'ordre pour amener à maturité la technologie dans le domaine applicatif visé, sans recouvrement de projets déjà financés par ailleurs.

Le projet NANO est un exemple typique de valorisation d'une compétence acquise par un partenaire académique (le CIRIMAT) depuis plus de 20 ans (utilisation des oxalates pour constituer en toute sécurité des matériaux nano structurés possédant des caractéristiques largement améliorées par rapport au matériau de base) pour lesquels les industriels (Thales

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 12/66

Alenia Space et Continental Automotive) trouvent une nouvelle application actuellement verrouillée par un point dur technologique et qu'INVENTEC pourrait valoriser au premier niveau.

2.4. Demandes de financement antérieures pour le même projet


Indiquer ici si le projet a déjà fait l'objet d'une demande de financement public et dans ce cas, les principales évolutions ou modification apportées au projet.

Cf. préambule.

2.5. Financements publics octroyés à des projets similaires

Indiquer ici les projets dont l'IRT a connaissance chez ses partenaires ou fondateurs, qui portent sur les mêmes sujets et qui ont fait l'objet de financements publics ou dont il est prévu qu'ils fassent l'objet d'une demande de financement public.

Il n'y a pas eu de financement public octroyé à des projets similaires.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 13/66

3. IMPACT DU PROJET POUR L'IRT

3.1. Positionnement du projet dans la feuille de route technologique de l'IRT

Justifier le positionnement dans la feuille de route technologique de l'IRT.

Indiquer les projets de l'IRT concernant des sujets connexes.

Justifier l'indépendance au sens communautaire du projet par rapport aux autres projets de l'IRT. Il pourra notamment s'agir de montrer que les résultats du projet sont exploitables séparément de ceux des autres projets

Le projet NANO avait pour objectif initial le développement d'un matériau permettant l'assemblage à basse température et sans pression (amené notamment par le passage à l'état nanométrique) de composants de puissance sous forme de puces nues sur des supports dissipateurs afin d'améliorer les performances thermiques. Il adressait ce qui est communément appelé le packaging de premier niveau.

La nouvelle orientation du projet NANO consiste toujours à développer un nouveau matériau visant cette fois-ci l'assemblage à basse température et sans pression (amené toujours par le passage à l'état nanométrique) de composants électroniques packagés sur circuit imprimé. Il adresse alors le packaging de second niveau.

De par ses objectifs, la nouvelle thématique abordée dans le projet NANO a un positionnement transverse à deux domaines de l'IRT Saint Exupéry, à savoir

- le domaine Matériaux : un des objectifs du domaine est le développement de matériaux innovants capables de dépasser les limites actuellement identifiées. Pour ceci, l'utilisation de nano-matériaux ou d'un effet nanométrique (cas du projet NANO) sont des vecteurs de rupture technologique intéressants de ce développement.
- le domaine Aéronefs Plus Electriques : une des activités du domaine porte sur les technologies d'intégration de composants, visant l'assemblage de composants à des températures plus basses. Le projet NANO a également des liens naturels avec le lot 4 du projet Robustesse Electronique « Simulation des stress thermomécaniques composants », qui porte notamment sur la caractérisation de l'impact des sollicitations sur les joints brasés.

Cette notion de positionnement transverse entre deux domaines de l'IRT Saint Exupéry sera travaillée durant la réalisation du projet au travers d'une feuille de route, en cours de développement/consolidation.

3.2. Création d'actifs pour l'IRT

Politique d'immobilisation des résultats du projet


Décrire la politique d'immobilisation prévue pour les résultats du projet.

Cette politique sera définie au cours du projet.

Propriété intellectuelle

Le cas échéant, indiquer les éléments de PI et autres immobilisations incorporelles qu'il est prévu d'activer au bilan de l'IRT et la valeur correspondante sur tout le projet qui figure dans le budget prévisionnel.


La création d'actif pour l'IRT basée sur les résultats du projet sera définie au cours du projet.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 14/66

Immobilisations corporelles

Le cas échéant, indiquer les immobilisations corporelles qu'il est prévu d'activer au bilan de l'IRT et la valeur correspondante sur tout le projet qui figure dans le budget prévisionnel.

Non applicable.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 15/66

4. CARACTERISTIQUES DU PROJET

4.1. Principaux objectifs scientifiques et techniques, résultats attendus

Contexte et enjeux économiques et sociétaux

Afin de pouvoir répondre aux enjeux de compétitivité et d'innovation technologique, les industriels de l'aéronautique, de l'automobile et du spatial ont décliné leurs besoins selon les axes suivants :

- Matériaux innovants capables de dépasser les limites actuellement identifiées
- Intégration électronique permettant de répondre aux défis posés en termes de réduction de masse et de volume
- Fonctionnalisation des structures et des assemblages

Le projet NANO rentre parfaitement dans le cadre du premier axe dans la mesure où l'objectif majeur porte sur le développement d'un matériau permettant de faire de l'assemblage à plus basse température pour in fine en améliorer sa fiabilité.

Sur une vision plus amont, il est imaginable également qu'il réponde au deuxième axe d'intégration électronique dans la mesure où il pourra permettre, par une température de fusion de l'état final bien plus élevée que celle d'assemblage initial, une meilleure intégration des composants (notion de Package on Package - PoP).

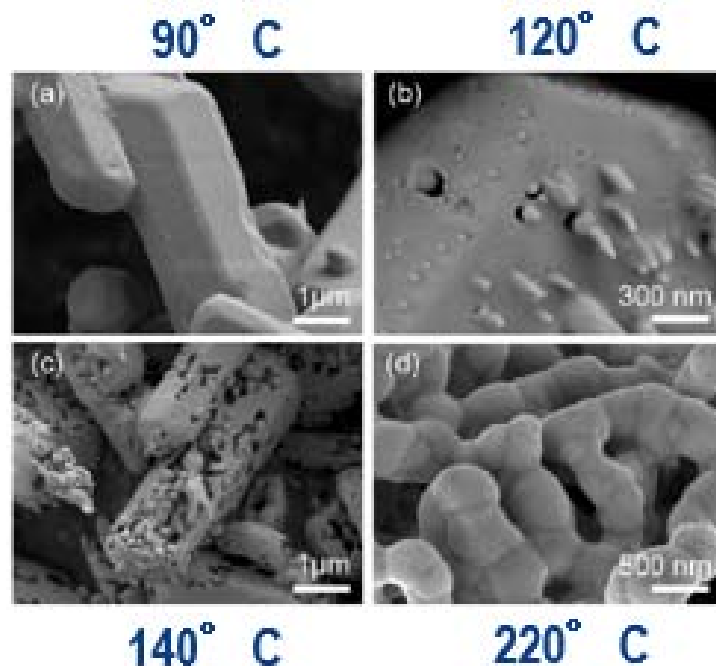
L'objectif de développer un matériau sans plomb s'assemblant sous un profil de refusion similaire à celui d'un matériau plombé est un point très important pour la fiabilité mais également en terme :

- De consommation d'énergie puisque l'assemblage ne nécessite plus l'élévation de 30 à 40°C supplémentaire
- D'assouplissement des règles de conception puisque nous obtenons au final un matériau avec deux températures de fusion, permettant de s'affranchir des contraintes de routage des PCBs quant au positionnement des composants lourds
- D'investissement puisque les industriels (cas du spatial) n'ont pas la nécessité d'investir sur de nouveaux moyens de production
- De politique RoHS puisqu'il permettrait de faire basculer dans un statut plus écologique une solution qui ne l'est pas actuellement

Tous ces éléments ont évidemment une répercussion de réduction des coûts intéressante.

L'approche scientifique apportée par le CIRIMAT au travers des oxalates est un point sociétal très intéressant. En effet, les oxalates peuvent être synthétisés sous forme de particules de tailles micrométriques. Mais, sous l'effet de la température, ces particules se décomposent en particules plus petites (jusqu'à nanométriques) et ceci dès 90°C dans le cas des oxalates d'argent par exemple. A cette taille nanométrique, il y a assemblage des particules à des températures plus faibles qu'à l'état massif, permettant la réalisation d'un joint assurant l'interface électrique, mécanique et thermique entre le substrat et le composant. Les oxalates d'argent permettent de tirer pleinement partie de l'aspect nanométrique quant à la température d'assemblage dans un état temporaire qui ne présente

pas de risque en termes d'hygiène et sécurité dans la mesure où l'opérateur par exemple ne manipule pas ces nanoparticules.



Décomposition des oxalates d'Ag, formation de nano-particules d'Ag et frittage pour formation d'un joint Ag pur

Objets du projet

Les objectifs de ce contrat de recherche portent sur deux aspects :

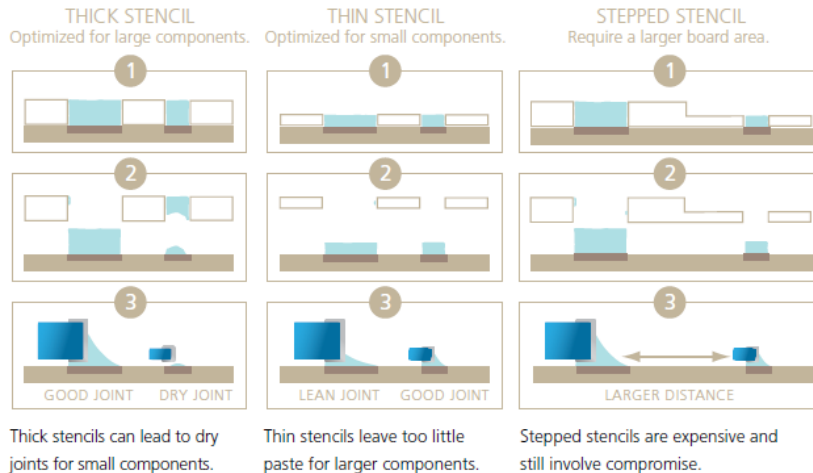
- Un axe court-moyen terme sur l'évaluation des potentialités du procédé de jet printing de crème à braser
- Un axe moyen-long terme avec le développement d'un matériau sans plomb permettant l'assemblage de composants électroniques sur circuit imprimé :
 - à des températures identiques de celles utilisées pour l'assemblage au plomb (typiquement <220°C en température maximale)
 - garantissant (voire améliorant) un même niveau de fiabilité
 - compatible des normes environnementales (RoHS, REACH)

Jet printing

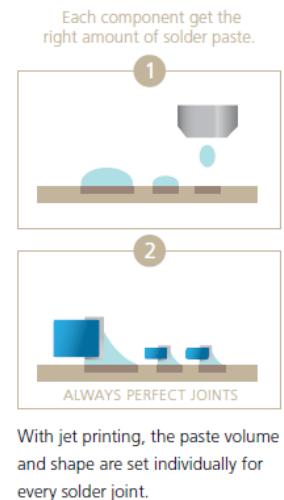
Les techniques de dépôt de crème à braser sont typiquement de 3 ordres : la sérigraphie, le dépôt par dispensing et plus récemment le jet printing.

Même si la sérigraphie est la plus communément utilisée, sur la figure suivante, nous voyons parfaitement ses limitations suivant le choix de l'écran de sérigraphie et la nature des composants.

COMMON ISSUES WITH SCREEN PRINTING



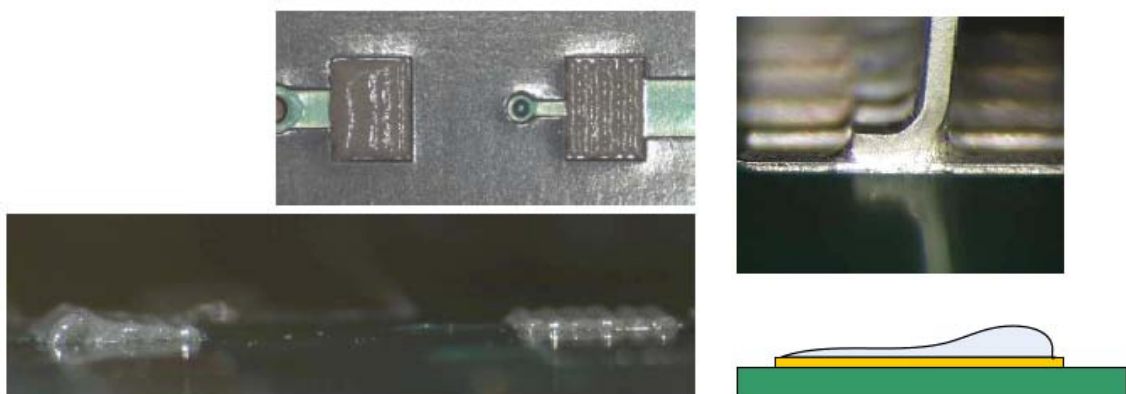
SOLVED WITH JET PRINTING



Apport de la technique de jet printing par rapport à celle de la sérigraphie


Depuis 5 ans environ, sont disponibles sur le marché des crèmes à braser commerciales et des machines automatiques pour le procédé de jet printing. On peut citer par exemple les crème à braser références JP20 (version sans plomb SAC305) et JP22 (version SnPbAg) d'INVENTEC et la machine MYDATA500 de MYDATA.

En venant déposer sans contact avec le substrat de fines gouttes (de l'ordre de quelques nano-litres) de produit, le jet printing autorise la réalisation d'un dépôt individualisé de forme 3D pour chaque empreinte. Cette discrétisation du volume de crème permet de mettre la bonne quantité au bon endroit et permet in fine d'améliorer très sensiblement la qualité du joint brasé. Un dépôt sans contact permet de s'affranchir plus facilement des défauts du circuit imprimé (planéité, vrillage, ...).



Quelques exemples des potentialités du jet printing.

Nous nous proposons dans le projet NANO de construire l'état de l'art de ce procédé technologique en investiguant sur les potentialités de cette technique de dépôt de crème à braser et en analysant si elle pourrait permettre de résoudre des cas d'emploi à automatisation et/ou à fiabilité limitée à ce jour.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPÉRY		
	Projet NANO		Page 18/66

Matériau d'assemblage basse-température

Même si la directive européenne RoHS (2002/95/CE) est théoriquement parfaitement appréhendée par les industriels à ce jour, elle laisse toutefois ouverts certains points durs et ne permet pas à ceux qui n'ont pas encore franchi le pas (par des exemptions incertaines dans le temps et dont le coût induit est très pénalisant) d'avoir une solution sécurisée.

L'objectif proposé dans ce contrat de recherche est la réalisation d'un matériau sans plomb permettant de faire de l'assemblage de composants électroniques sur circuit imprimé avec un profil de température similaire à celui appliqué avec les matériaux à base de plomb.

Cet objectif est lié à trois points essentiels :


- Un réel besoin d'apporter une solution technique aux industriels (Thales Alenia Space et Continental Automotive)
- Une valorisation industrielle de la filière oxalate développée depuis plus de 20 ans par le CIRIMAT dont le dernier résultat est l'oxalate d'argent pour des applications de forte dissipation thermique
- Un développement du portefeuille d'INVENTEC en apportant une solution réellement différenciant de la concurrence et dont le domaine d'application va au-delà des besoins couverts par l'IRT Saint Exupéry

Une autre sortie intéressante de ce matériau est la différence entre sa température attendue de fusion/frittage à l'issue de la décomposition de l'oxalate (autour de 180°C) et sa température de fusion à l'état massif obtenu au terme du brasage (plus élevée, autour de 220°C une fois le joint brasé réalisé). Cet écart, désavantageux initialement, se comporte alors comme une propriété très intéressante car le joint brasé serait alors moins sollicité à des contraintes en température ultérieures (procédés de collage, cycle, ...).

Plusieurs verrous scientifiques et technologiques doivent toutefois être levés. Il faut tout d'abord trouver les conditions de synthèse permettant d'obtenir des oxalates microniques homogènes, renfermant les éléments Sn, Ag, Cu dans les proportions utilisées dans les brasures de type SAC actuelles. Dans un deuxième temps, il convient de mettre au point les conditions de décomposition thermiques permettant, comme pour l'oxalate d'argent pur (cf. travaux TAS-CIRIMAT), d'obtenir des nanoparticules et de faire en sorte qu'elles soient constituées de l'alliage eutectique Sn, Ag, Cu visé sans la formation préjudiciable d'un oxyde.

Si l'objectif du développement d'un matériau d'assemblage basse température pour report de composants électroniques sur circuit imprimé est pleinement atteint, il sera éventuellement envisageable de le faire converger avec celui du jet printing, en travaillant notamment sur la dimension des charges et leur dispersion ainsi que sur la proportion de flux.

Principaux résultats attendus du projet

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 19/66

Le premier résultat attendu est l'évaluation des potentialités de la technologie de jet printing. Elle permettra éventuellement d'apporter une réponse technique pour le report automatique de composants électroniques.

Pour les activités de forte production (domaine automobile par exemple), les cadences annoncées par les générations actuelles de jet printer semblent ne jamais pouvoir remplacer complètement une machine de sérigraphie. Toutefois, ce type d'équipement pourra éventuellement s'insérer en série d'une ligne d'assemblage pour donner une solution de report plus fiable pour certains types de composants présentant une difficulté technique majeure.

Pour les activités de faible (domaine spatial) et moyenne production, pour les lignes de prototypage, il se peut que l'investissement sur un jet printer soit finalement plus pertinent techniquement pour les points cités précédemment mais aussi économiquement (éliminant le design, la fabrication et la gestion (approvisionnement, nettoyage, stockage) des écrans).


Le second résultat attendu sera la synthèse et la caractérisation de particules d'oxalates multi-éléments de taille micronique donnant par décomposition des alliages métalliques eutectiques possédant des températures de fusion/frittage plus basses que celle de leurs homologues à l'état massif.

Le troisième résultat attendu sera la formulation et la caractérisation d'une pâte intégrant ces particules et compatible des besoins standards d'une crème à braser tels qu'une basse température d'assemblage (température de refusion maximale à 210°C-215°C), une haute conductivité électrique (de l'ordre de 10-15μOhm.cm), une bonne conductivité thermique et très bonne tenue mécanique (vis-à-vis des contraintes de vibration et de cyclage thermique - normes ECSS-Q-ST-70-08C et ECSS-Q-ST-70-38C pour le spatial par exemple).

Le dernier résultat attendu sera l'évaluation de la fiabilité apportée par cette crème à braser sur des cas d'application typiques apportés par les industriels.

*Indiquer avec précision les verrous technologiques à lever et les ruptures technologiques visées.
Justifier qu'il ne s'agit pas de simples innovations incrémentales de l'état de l'art.
Qualifier les risques d'échecs technologiques associés.*

Verrous	Actuel	Visé
Synthèse de particules répondant au cahier des charges défini dans le Lot 1	TRL 1	TRL 3
Formulation d'une crème à braser répondant au cahier des charges défini dans le Lot 1	TRL 1	TRL 3
Passage de l'échelle du laboratoire à celui d'une ligne pilote	TRL 3	TRL 4
Technologie du jet printing	TRL 3	TRL 4
Procédés technologiques sur la crème à braser sans Plomb à bas point de fusion	TRL 1	TRL 3

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 20/66

Les risques d'échecs technologiques associés sont décrits dans les paragraphes suivants.

4.2. Positionnement du projet par rapport à l'état de l'art

Résumer l'état de l'art des technologies concernées au niveau mondial et plus précisément au niveau des partenaires du projet. Cet état de l'art doit se rapporter précisément aux verrous technologiques du projet. Positionner le projet par rapport aux autres initiatives en cours sur des sujets proches, en particulier les projets impliquant des fondateurs/partenaires de l'IRT et ayant bénéficié/susceptibles de bénéficier d'une aide publique.

4.2.1. Etat de l'art de l'offre industrielle

Avant l'application de la directive RoHS, l'alliage le plus fréquemment utilisé dans l'industrie était à base d'étain/plomb (63Sn/37Pb). Son point de fusion modéré (183°C) et ses propriétés physiques constituent les principales références car toute la chaîne de l'assemblage des circuits est adaptée à cet alliage.

La recherche de substitution du plomb dans les alliages de soudure dans l'industrie de la microélectronique est devenue l'objet d'un enjeu économique et stratégique à l'échelle de la planète.

A partir d'alliages binaires de référence, des éléments « dopants » peuvent également être introduits dans les alliages pour former des ternaires et viennent compléter la famille des alliages pouvant remplacer l'alliage SnPb. Les composés intermétalliques doivent être limités car ils peuvent fragiliser la brasure. Il est connu que leur proportion augmente avec la température et le temps et qu'ils croissent à l'état solide.

A partir d'une matrice d'étain, une multitude d'alliages ont été élaborés et certains ont été étudiés. Le tableau suivant présente une série d'alliages potentiels pour lesquels la température de fusion, la densité et le coût de production ont été retenus.

Alliages	Température de fusion (°C)	Coût (par unité de masse) (\$/Kg)	Densité (25°C)	Coût (par unité de volume) (\$/cm ³)
Sn – 37 Pb	183°C	5,21	8,8	0,046
Sn – 3,5 Ag	221	13,90	7,42	0,142
Sn – 0,7Cu	227	7,66	7,31	0,056
Sn – 58Bi	139	7,57	8,75	0,067
Sn – 5Sb	232 – 240	7,41	7,28	0,054
Sn – 9Zn	199	7,11	7,28	0,052
Sn-4Ag-0,5Cu	217-218	14,41	7,44	0,107
Sn-3,4Ag-4,8Bi	208-215	13,73	7,53	0,104
Sn-3,5Ag-3Bi	216-220	13,02	7,44	0,097
Sn-2,8Ag-20In	179-189	66,13	7,39	0,489
Sn-3,5Ag-1,5In	218	17,93	7,42	0,133
Sn-2Ag-0,5Cu-7,5Bi	186-212	11,2	7,56	0,085
Sn-2,5Ag-0,8Cu-0,5Sb *	213-219	12,06	7,39	0,089

Densité et coût (réf. 1999) des alliages sans plomb (* : alliage breveté)

Nous pouvons voir que la plupart des alliages sans plomb ont une température de fusion plus haute que celle du SnPb, à l'exception des alliages à base d'indium et de bismuth.

L'indium et l'antimoine sont souvent présents dans ces nouveaux alliages sans plomb pourtant, une quantité d'antimoine mal gérée peut complètement inhiber l'aptitude à la mouillabilité de l'alliage. De la même manière la distribution des atomes d'Indium dans le réseau de l'étain peut anéantir la résistance à la fatigue de ces alliages et cet alliage sera donc limité aux composants sensibles à la température et ne subissant pas trop de contraintes mécaniques. Le zinc a pour inconvénient la formation rapide d'oxyde (qui plus est stable), est sensible à la corrosion et réduit de manière significative le mouillage. Les alliages à base de bismuth sont assez fragiles et toute proportion de plomb a pour effet de générer un eutectique secondaire à 96°C induisant une faible résistance à la fatigue. Par ailleurs, des solutions à base de 42Sn58Bi possèdent une résistivité électrique double du SnPb et un trop bas point de fusion (139°C), ce qui limite ou interdit l'utilisation d'autres procédés connexes lors de la réalisation de circuit équipé (collage à 150°C par exemple). Enfin, la problématique économique n'est pas anodine. En effet, le remplacement du plomb par le bismuth ou l'indium est impensable compte tenu des faibles niveaux de production et de leurs réserves limitées.

L'alliage Sn-Ag-Cu d'échelle micrométrique semble présenter le meilleur compromis (notamment si on rajoute des critères de soudabilité, fiabilité ou possibilité de recyclage). Une des lignes directrices du projet pourrait être alors de réaliser un oxalate à base de Sn-Ag-Cu permettant de tirer avantage de l'abaissement en température et de profiter de toutes les caractéristiques précédemment citées.

4.2.2. *Etat de l'art de l'offre scientifique*

Les nouveaux alliages sans plomb doivent satisfaire à des propriétés aussi variées que : bonne mouillabilité, basse température d'assemblage, bas coût, écologique, bonne robustesse mécanique et bonne résistance à la fatigue thermique. De manière générale, les alliages sans plomb sont à base de Sn par sa bonne conductance et enrichis avec de l'argent, du cuivre, du zinc, du bismuth, de l'indium sous des formes binaires, ternaires et même quaternaires (avec moins de 0.1% de plomb).

La recherche sur des crèmes à braser en tant que telles, c'est-à-dire permettant de résoudre le remplacement des solutions à base de plomb, n'est plus réellement d'actualité, compte tenu de solutions existantes. Toutefois, ces solutions présentent un certain nombre de problèmes et l'état actuel de la recherche au niveau scientifique sur les brasures porte sur deux aspects :


- L'utilisation de nanoparticules permettant l'abaissement de la température de refusion,
- L'utilisation de nanoparticules permettant d'améliorer certaines propriétés telles que la mouillabilité, la formation d'intermétalliques ou fiabilité mécanique de l'assemblage.

Sur le premier point, nous pouvons citer par exemple les travaux de Hongjin Jiang, et al. ("Tin/Silver Alloy Nanoparticles for Low Temperature Lead-free Interconnect Applications", Hongjin Jiang, Kyoung-sik Moon, Fay Hua and C. P. Wong, IEEE Advanced Packaging Materials Symposium – 2007) démontrant que l'abaissement de la taille de particules SnAg jusqu'à 10 nanomètres permet de réduire de 222°C à 194°C la température de fusion.

Experiment	Diameter (nm)	Melting point (°C)	ΔH (J/g)
96.5Sn3.5Ag	Micron size	222.6	68.5
1	64	220.0	44.7
2	24	209.5	24.2
3	17	206.0	15.1
4	10	194.3	9.95

Point de fusion de particules SnAg suivant leurs tailles (micrométriques à nanométriques)

Sur le second aspect, un des grands intérêts de l'introduction de nanoparticules est l'amélioration de certaines propriétés de la crème à braser (mouillabilité, micro-dureté...), la possibilité d'adaptation de certaines propriétés et une meilleure fiabilité des joints brasés, en particulier pour des domaines soumis à des températures élevées sur des périodes étendues tels que l'automotive, l'aéronautique, le spatial et les industries de la recherche pétrolière et de gaz. Les défaillances liées à la fatigue dans les joints brasés sont un sérieux problème dans ces environnements sévères. L'addition de nanoparticules permet de durcir ces assemblages et de stabiliser la structure des grains. En effet, l'objectif est alors l'introduction d'un renfort submicronique avec des liaisons fortes avec les grains dans les régions frontières de la matrice. Cette amélioration de la fiabilité peut également être profitable à d'autres secteurs de niche tel que le médical.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 23/66

Par exemple, les travaux de Krystyna Bukat et al. ("Properties of the SAC Solder Paste with Different Nanoparticles, Krystyna Bukat, Marek Kościelski, Janusz Sitek, Małgorzata Jakubowska, Anna Młozniak, 34th Int. Spring Seminar on Electronics Technology – 2011) ont porté sur l'ajout de particules nanométriques Ni, Ag ou Cu séparément dans un alliage SAC305 standard. L'ajout de nano particules Ag a un effet positif sur l'étalement de la crème (contrairement à l'ajout de nano particules Ni ou Cu) mais également sur la mouillabilité et sur la formation d'intermétalliques.

Comme nous pouvons le voir au travers de ces quelques exemples, sur les deux aspects, la littérature est très riche mais est confrontée systématiquement au même problème final :

- l'utilisation de nanoparticules, éléments dont l'innocuité en terme d'hygiène et sécurité doit être prouvée et imposant de fortes contraintes industrielles pour leur emploi
- des résultats pas toujours différenciants et pas réellement probants avec une vision industrielle et dont les applications commerciales ne sont pas encore visibles (aucune crème à braser contenant des nano particules n'est à ce jour commercialisée selon nos connaissances)

Au travers des travaux réalisés au CIRIMAT sur les oxalates (Silver oxalate-based solders: New materials for high thermal conductivity microjoining, K. Kiryukhina et al.), l'approche proposée dans le projet NANO est complètement en phase avec les développements précédemment présentés. Ces oxalates ont déjà prouvé par le passé (cas de l'argent) que l'on peut obtenir un fort abaissement de la température de fusion du matériau par un passage à l'état nanométrique lors de la décomposition en température. Cet état nanométrique n'est à aucun moment l'état de manipulation auquel sera exposé l'opérateur et ne pose que de très faible (voire aucune) contrainte industrielle. Par ailleurs, les tests de fiabilité effectués sur ces mêmes oxalates d'argent n'ont révélé aucun point dur majeur.

Toutefois, le CIRIMAT n'a qu'une expertise très limitée dans le domaine du packaging électronique et des contraintes associées et n'a aucune notion des additifs nécessaires pour la réalisation d'une crème à braser, forte expérience développée depuis très longtemps par INVENTEC. Ceci justifie in fine un besoin de R&D industriel et académique conjoint.


4.2.3. Positionnement des projets de R&D

Non applicable.

4.3. Bibliographie

Donner des éléments bibliographiques récents permettant d'apprécier l'état de l'art du domaine concerné. Le cas échéant, indiquer des brevets déjà publics.

Cf. détails dans section 4.2.2 et une analyse de l'état de l'art sera mise à jour au cours du projet.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 24/66

4.4. Dépendances ou indépendance par rapport à d'autres projets

Le cas échéant, indiquer les dépendances du projet par rapport à d'autres projets de l'IRT ayant reçu du financement public. Sinon argumenter l'absence de dépendance.

Le projet NANO n'a pas de dépendance avec d'autres projets.

5. MOYENS PREVISIONNELS

5.1. Ressources humaines

Participants au projet (nombre de personnes impliquées)

Participants	Nombre
<u>Personnel propre IRT et assimilé (1)</u>	
Directeurs & experts	
Ing. & chercheurs confirmés	1
Ing. & chercheurs débutants	
« Postdocs » (2)	
Doctorants	1
Techniciens (3)	
Total personnel IRT et assimilé	2
<u>Effectif non assimilable à du personnel IRT</u>	
Personnel de sous-traitants de l'IRT (4)	Experts INVENTEC (2), TAS (2) et CONTINENTAL (2)
Personnel de partenaires privés (5)	Experts INVENTEC (2), TAS (3) et CONTINENTAL (2)
Personnel de partenaires publics (5)	Experts CIRIMAT (4) et LAAS (2)
Total personnel IRT + autres	15

(1) Personnel salarié et personnel mis à disposition de l'IRT, dont le coût est imputé au projet parmi les dépenses de l'IRT.

(2) Définis comme ayant leur premier contrat après la soutenance de leur thèse.

(3) Techniciens explicitement affecté à des tâches du programme, non pris en compte dans les frais généraux.

(4) Uniquement régie et sous-traitance de RDI à l'IRT.

(5) Personnel intervenant à titre partenarial, hors personnel mis à disposition de l'IRT.

Ressources humaines de l'IRT pour le projet (1) (personnes.mois)

Participants	Total p.m
Directeurs & experts	
Ing. & chercheurs confirmés	36
Ing. & chercheurs débutants (2)	
« Postdocs » (2)	
Doctorants (2)	36
Techniciens (2)	
Total personnel IRT et assimilé	72
% des ressources humaines totales du projet (5)	77 %

(1) Personnel propre de l'IRT et assimilé, dont le coût est imputé au projet parmi les dépenses de l'IRT.

(2) A regrouper en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(3) IRT/(IRT+partenaires).

Ressources humaines des partenaires de l'IRT pour le projet (1) (personnes.mois)

A remplir si le projet est déclaré comme partenarial.

Partenaire	Budget total p.m
<u>Partenaires non assimilés à des entreprises (1)</u>	
CIRIMAT	14.5
Total partenaires « académiques »	14.5
<u>Partenaires assimilés à des entreprises (2)</u>	
INVENTEC	6
THALES ALENIA SPACE	0.5
CONTINENTAL AUTOMOTIVE	0.5
Total partenaires « entreprises »	7
Total partenaires	21.5
% des ressources humaines totales du projet (3)	23 %


(1) Au sens de la réglementation communautaire, notamment partenaires académiques.

(2) Au sens de la réglementation communautaire.

(3) Partenaires/(IRT+partenaires).

5.2. Principaux équipements

Indiquer les équipements dont le coût d'utilisation (amortissements) est pris en compte comme coût direct du projet, à l'exclusion des équipements dont le coût est intégré dans les frais de structure de l'IRT.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		Page 27/66

Equipement	Unité (1)	Budget Total (2)

(1) Unité utilisée pour mesure l'utilisation de l'équipement. Heures, lots techniques etc. . Indiquer la valeur de l'unité en k€.

(2) Mesuré avec l'unité définie ci-dessus.

(3) Cumul fin d'exercice / Budget total.

Non applicable.

5.3. Propriété intellectuelle antérieure exploitée par le projet

Propriété intellectuelle antérieure de l'IRT

Le cas échéant, indiquer les éléments de PI produit et immobilisés par l'IRT antérieurement et dont les amortissements seront imputés au projet.

Ne pas indiquer la PI de l'IRT dont l'utilisation ne génère pas de coûts pour le projet.

Description	Amort. €
Total	

Non applicable : le projet exploitera uniquement la propriété intellectuelle apportée par les membres.

Propriété intellectuelle acquise par l'IRT

Indiquer uniquement les éléments de PI de tierce partie qui génèrent des coûts imputés au projet, soit des amortissements (PI immobilisée par l'IRT) soit des redevances, éventuellement les deux.

Description	Amort. €
Total	

Non applicable

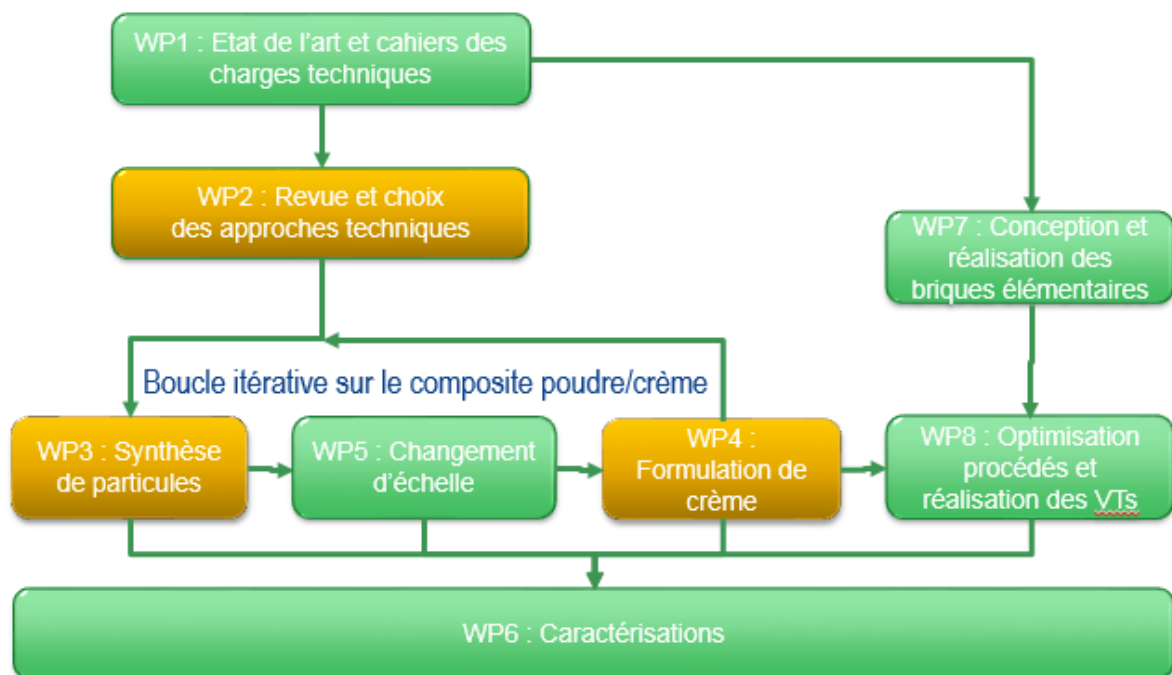
6. DESCRIPTION DES TRAVAUX PREVUS

6.1. Méthode et plan de travail

Pour adresser l'ensemble des objectifs de ce projet, celui-ci est découpé en 10 lots :


- Lot 1 – Etat de l'art et cahiers des charges techniques
- Lot 2 – Revue et choix des approches techniques
- Lot 3 – Synthèse de particules
- Lot 4 – Formulation de crème à braser
- Lot 5 – Changement d'échelle
- Lot 6 – Caractérisations
- Lot 7 – Conception et réalisation des pièces élémentaires
- Lot 8 – Optimisation des procédés technologiques

Les lots 1 et 5 à 8 seront réalisés dans le cadre de recherche en Propre de l'IRT Saint Exupéry, en s'appuyant sur les moyens mis à disposition ou disponibles par Thales Alenia Space, le CIRIMAT, le LAAS et INVENTEC. Les lots 2, 3 et 4 seront réalisés dans le cadre d'une recherche partenariale entre l'IRT et le laboratoire CIRIMAT, la société INVENTEC, CONTINENTAL AUTOMOTIVE et THALES ALENIA SPACE.



Workflow méthodologique.

Tel que décrit dans le diagramme de GANTT ci-après, des itérations successives (typiquement 3 itérations) sont prévues entre les lots 3 à 5 (en liaison avec le lot 6) afin de développer et caractériser le matériau permettant l'assemblage basse-température sur circuit

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01		An 2014	
	IRT SAINT EXUPÉRY			
	Projet		NANO	Page 29/66

imprimé. Cet aspect montre la très forte interdépendance entre le projet de recherche en propre mené à l'IRT Saint Exupéry et le projet collaboratif. Ci-dessous un exemple :

- dans le cadre du lot 3 (lot collaboratif), le CIRIMAT fera la synthèse de poudre suivant l'objectif défini dans le cahier des charges du Lot 1 (lot de recherche en propre IRT). Les quantités de poudre synthétisées seront alors de l'ordre du gramme,
- afin de subvenir aux besoins d'INVENTEC dans le Lot 4 (lot collaboratif) pour la réalisation d'une crème à braser à base de cette poudre, un changement d'échelle sera effectué par le CIRIMAT dans le Lot 5 (lot de recherche en propre IRT),
- l'ensemble des matériaux développés (poudres, crèmes) seront alors caractérisés dans le Lot 6 (lot de recherche en propre IRT).

Concernant la crème à braser à développer, il est proposé, afin de pouvoir évaluer pleinement ses propriétés, de procéder systématiquement (dans la mesure du possible) à une comparaison (*principe de benchmark*) avec les solutions éprouvées existantes.

Par exemple, il est proposé pour ceci :

- de définir, dans le Lot 1, quel est le test et les échantillons associés à réaliser, permettant de statuer entre les solutions éprouvées actuelles et les nouvelles formulations
- de concevoir et fabriquer dans le Lot 7 les pièces élémentaires pour effectuer les essais
- de réaliser le même essai (au travers des Lot 6 et Lot 8) sur la crème développée et sur des crèmes commerciales éprouvées afin de voir si la solution nouvelle est pertinente.

6.2. Liste des lots et tâches

Indiquer tous les lots du projet, y compris, le cas échéant, ceux auxquels l'IRT ne participe pas.

La décomposition en tâches n'est pas imposée, sauf si elle s'avère nécessaire pour permettre un niveau de description suffisant des verrous, pistes technologiques et travaux afférents.

Outre la compréhension de la structure du projet, la description de la décomposition du projet sert notamment de clef de lecture des états extraits de la comptabilité analytique qui suivent la même décomposition

#	Lot	#	Tâche (optionnel)	Qual. (1)	Rôle IRT (2)	Début (3)	Fin (3)
1	Lot 1 – Etat de l'art et cahiers des charges techniques	1.1	Tâche 1-1 : Etat de l'art crème à braser nouvelle génération	RF	R	T0	T0+4
1	Lot 1 – Etat de l'art et cahiers des charges techniques	1.2	Tâche 1-2 : Spécifications crème à braser nouvelle génération	RF	R	T0	T0+2
1	Lot 1 – Etat de l'art et cahiers des charges techniques	1.3	Tâche 1-3 : Jet printing	RF	R	T0	T0+4
2	Lot 2 – Revue et choix des approches techniques			RF	R	T0+2	T0+4
3	Lot 3 – Synthèse de particules			RF	P	T0+5	T0+18
4	Lot 4 – Formulation de crème à braser			RF	P	T0+8	T0+21
5	Lot 5 – Changement d'échelle			RI	R	T0+7	T0+19
6	Lot 6 – Caractérisations	6.1	Tâche 6.1 : Poudres et particules métalliques ou d'alliages	RI	R	T0+6	T0+20
6	Lot 6 – Caractérisations	6.2	Tâche 6.2 : Crèmes à braser	RI	R	T0+9	T0+22
6	Lot 6 – Caractérisations	6.3	Tâche 6.3 : Analyse des joints assemblés	RI	R	T0+15	T0+24
7	Lot 7 – Conception et réalisation des pièces élémentaires	7.1	Tâche 7.1 : Conception des pièces élémentaires	RI	R	T0+6	T0+8
7	Lot 7 – Conception et réalisation des pièces élémentaires	7.2	Tâche 7.2 : Approvisionnement des pièces élémentaires	RI	R	T0+9	T0+11
8	Lot 8 – Optimisation des procédés technologiques	8.1	Tâche 8.1 : Evaluation du jet printing sur solutions commerciales actuelles	RI	R	T0+4	T0+11
8	Lot 8 – Optimisation des procédés technologiques	8.2	Tâche 8.2 : Analyse des procédés CMS sur crème à braser nouvelle génération	RI	R	T0+12	T0+25


(1) RF : recherche fondamentale ; RI : recherche industrielle ; DE : développement expérimental ; EPI : études préalables aux travaux de recherche industrielle ; EPE : études préalables aux travaux de développement expérimental.

(2) S si l'IRT réalise le lot ou la tâche seul, R si l'IRT est responsable du lot ou de la tâche, P si l'IRT est un partenaire non responsable du lot ou de la tâche, N si l'IRT ne participe pas au lot ou à la tâche.

(3) Date relative par rapport au début du projet, en mois.

6.3. Jalons et articulation des lots et tâches

Jalons du projet (1)

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		Page 31/66

Désignation	Description	Date (2)
D1	Etat de l'art sur une crème à braser nouvelle génération	T0+25 (avec itération successive)
D2	Spécifications des matériaux à développer et de leurs caractérisations associées	T0+2
D3	Jet printing : spécifications des essais et de leurs caractérisations	T0+4
D4	Roadmap des axes stratégiques de développement poudre/crème du projet	T0+4
D5	Synthèse technique sur le développement de poudres	T0+18
D6	Synthèse technique sur le développement de crèmes à braser	T0+21
D7	Fiches techniques de caractérisation de chaque lot de poudres obtenues par changement d'échelle (scale-up)	T0+19
D8	Synthèse technique sur la caractérisation des poudres et particules métalliques ou d'alliages	T0+20
D9	Synthèse technique sur la caractérisation des crèmes à braser nouvelle génération	T0+22
D10	Synthèse technique sur la caractérisation d'un joint brasé obtenu avec des crèmes à braser nouvelle génération	T0+28
D11	Synthèse technique sur la conception et fichiers CAO pour fabrication PCB de test	T0+8
D12	Procès-verbaux de réception des pièces élémentaires et conformité au cahier des charges défini	T0+11
D13	Synthèse technique sur l'évaluation du procédé par jet printing de crèmes commerciales	T0+11
D14	Synthèse technique sur le comportement de la crème à braser sans Plomb à bas point de fusion vis-à-vis des procédés technologiques	T0+25

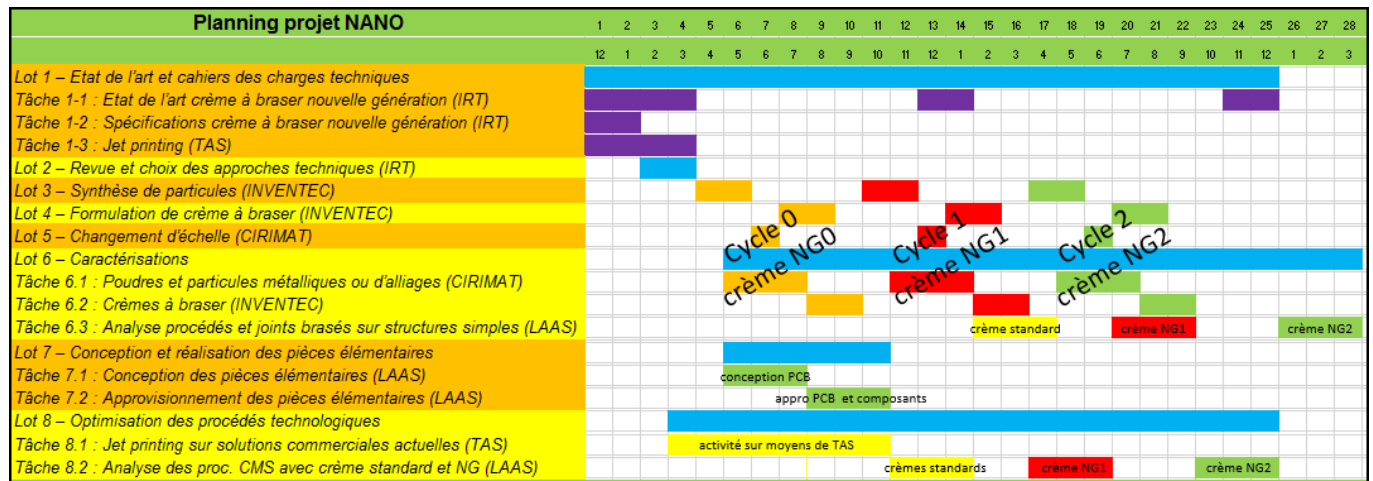
(1) Jalons explicitement définis ou, par défaut, fourniture des livrables globaux du projet.

(2) Date relative par rapport au début du projet, en mois.

GANTT prévisionnel

Coller le graphique GANTT correspondant à la décomposition du projet (1 page).

Pour chaque lot, le calendrier doit préciser une date de début et une date de fin. Ces dates doivent également être indiquées pour chaque tâche dans le cas où le lot serait divisé en tâches.



7. DETAIL DES TRAVAUX PAR LOTS

7.1. Lot 1 – Etat de l'art et cahiers des charges (spécifications) techniques (lot de recherche en propre IRT)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	Matériaux				
Projet	NANO				
Lot	N° 1	T0 :	T0	TF :	T0+25
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche en propre	Durée :	4
Partenaires	IRT				
Efforts (hommes.mois)	6				

7.1.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Responsable du lot

7.1.2. Objectifs techniques du lot

Donner pour chaque verrou le TRL (niveau de maturité technologique) actuel et le TRL cible suivant le tableau ci-dessous.

Verrous	Actuel	Visé
Non applicable		

Cette activité ne représente pas véritablement un verrou technologique dans la mesure où il s'agit de :

- voir les limitations actuelles pour les applications spatiales et automobiles
- mettre en perspective l'état de l'art sur les développements proposés
- définir les spécifications précises du projet sur les matériaux (et les caractérisations associés) à développer à travers les cahiers des charges associés.

7.1.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

Lorsque le lot est subdivisé en tâches, préciser l'intitulé des tâches et leur correspondance avec les verrous et pistes décrits.

Indiquer tous les lots, même lorsque l'IRT n'y participe pas.

#	Désignation	Responsable	Description – Verrous technologiques adressés	Qual (1)
1.1	Etat de l'art crème à braser nouvelle génération	IRT	Positionnement des activités techniques	RF
1.2	Spécifications crème à braser nouvelle génération	IRT	Définition des spécifications matériaux et caractérisations	RF
1.3	Jet printing	IRT	Positionnement des activités techniques	RF

(1) RF : recherche fondamentale ; RI : recherche industrielle ; DE : développement expérimental ; EPI : études préalables aux travaux de recherche industrielle ; EPE : études préalables aux travaux de développement expérimental.

7.1.4. Description des travaux de l'IRT

Décrire précisément les travaux prévus par l'IRT. Le cas échéant, distinguer la contribution de l'IRT en fonction des pistes technologiques envisagées.

Si certains travaux doivent être qualifiés de recherche industrielle (RI), voire de recherche fondamentale (RF), justifier cette qualification du lot ou de la tâche par rapport aux travaux effectués ainsi qu'aux livrables


Durant cette période, la même approche sera suivie en parallèle pour deux activités : le positionnement du problème montrant les limitations actuelles et l'état de l'art, l'élaboration des cahiers des charges affairant au développement d'une crème à braser basse température et à l'évaluation du procédé de jet printing de crème à braser.

Concernant le développement d'une crème à braser basse température, il est primordial tout d'abord d'identifier les limitations des crèmes à braser actuelles pour les applications des domaines spatial et automobile, en les illustrant de quelques exemples concrets.

L'axe principal visé dans cette étude portant sur le développement de précurseurs oxaliques autorisant un abaissement significatif du point de fusion, il sera important de connaître les solutions commerciales proposées ou la propriété intellectuelle existante pour la réalisation de crèmes à braser basée sur cette approche. Il sera également intéressant de voir les solutions sans Plomb à point de fusion proche de l'approche SnPb actuelle et leurs limitations.

Une forte activité de cahiers des charges sera ensuite effectuée permettant de bien cerner les objectifs techniques visés. Le premier point portera sur le cahier des charges poudres pour crèmes à braser. Le deuxième point portera proprement sur celui de la crème à braser nouvelle génération. A ce titre, dans le cadre d'une application spatiale, l'objectif sera le passage d'une solution sans Plomb avec les mêmes performances que les solutions actuelles (notamment en terme de résistance mécanique) à base de Plomb. Pour les applications automobiles, l'amélioration des performances mécaniques sera éventuellement une donnée d'entrée supplémentaire.

Un gros volet portera sur la spécification de tous les essais de caractérisations envisagées dans le cadre de cette recherche : caractérisation des poudres, caractérisation de la crème à braser niveau fournisseur, niveau procédés (sérigraphie, placement, refusion, ...), niveau end-user (joint brasé, ...). Ce volet sera également complété par le cahier des charges de la

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		Page 35/66

validation fonctionnelle de la nouvelle crème développée (essais qui porteront sur des véhicules de test simples et plus complexes).

Concernant le jet printing, après avoir décrit les bénéfices de ce procédé, la première étape portera sur la description des essais à réaliser (essais de jetting pour déterminer les paramètres, report de composant, refusion, comportement de la crème au nettoyage, nature du joint brasé, ...). La seconde étape sera de déterminer les caractérisations à effectuer (tenue mécanique, micro-section, ...).

Sont indiqués entre parenthèse les partenaires qui aideront l'IRT dans ces activités techniques.


Tâche 1-1 : Etat de l'art sur les crèmes à braser et position du problème

- Position du problème et identification des limitations des crèmes au Pb et sans Pb (IRT, INVENTEC, TAS, CONTINENTAL)
- Etat de l'art de la PI sur les crèmes à braser avec précurseurs oxaliques pour application assemblage de composants sur circuits imprimés (IRT, CIRIMAT)
- Etat de l'art / limitations des solutions sans Plomb à point de fusion proche ou plus basse que l'approche SnPb actuelle (INVENTEC/IRT)

Ces états de l'art ne devront pas rester figés dans le temps et seront réactualisés au cours du projet.

Tâche 1-2 : Cahiers des charges – Spécifications liés au développement d'une crème à braser nouvelle génération

- Cahier des charges sur les poudres (INVENTEC)
- Cahier des charges sur la crème à braser (INVENTEC, TAS, CONTINENTAL, IRT)
- Cahier des charges sur les flux (INVENTEC, TAS, CONTINENTAL, IRT)
- Cahier des charges sur les caractérisations nécessaires des produits développés
 - Caractérisation des précurseurs oxaliques (CIRIMAT). Ceci concerne essentiellement les essais réalisés (et les moyens associés) par le CIRIMAT lors de la synthèse d'une nouvelle poudre.
 - Caractérisation de la crème à braser niveau formulateur de crème (INVENTEC, TAS, CONTINENTAL, IRT). Ceci concerne essentiellement les essais réalisés par INVENTEC (et les moyens associés) lors de la formulation d'une nouvelle crème.
 - Caractérisation physico-chimique de la crème à braser (INVENTEC, LAAS, TAS, CONTINENTAL, CIRIMAT, IRT). Dans ce cahier des charges, seront décrits les essais (et les moyens associés) nécessaires pour une caractérisation électrique, mécanique, thermique, ...

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		Page 36/66

- Méthodologie d'évaluation d'une crème à braser nouvelle génération au niveau des procédés (LAAS, INVENTEC, IRT, TAS, CONTINENTAL)
- Cahier des charges de la validation fonctionnelle (IRT, CONTINENTAL, TAS)

Concernant l'évaluation des crèmes à braser nouvelle génération (développées par INVENTEC sur la base des poudres du CIRIMAT) vis-à-vis des procédés technologiques (et éventuellement afin de les classer), il faudra définir une méthodologie de travail. De par son expérience et ses moyens disponibles, le LAAS sera en charge de cette activité. Concernant les essais nécessitant d'être introduits dans cette méthodologie, on peut citer par exemple les points suivants :

- essais de sérigraphie et analyse du dépôt,
- essais de placement (a priori placement manuel),
- essais de refusion avec inspection associée,
- analyse des joints brasés (micro-sections),
- mouillabilité suivant la finition du PCB (ENIG, OSP, ..., en envisageant 3 types de finition par exemple),
- test de coalescence (selon norme IPC-TM-650 – 2.4.43),
- test d'affaissement ((selon norme IPC-TM-650 – 2.4.35)
- ...

Les composants à reporter sur PCB avec ces nouvelles crèmes seraient des composants simples (R, L, C de différentes tailles, boîtiers flat-pack standards) jusqu'à éventuellement des composants plus complexes (QFN, BGA, ...). Il sera proposé de procéder à une comparaison (principe de benchmark) avec les solutions éprouvées existantes à base de plomb (pour les besoins du spatial) ou sans plomb (pour les besoins automotive) afin d'éprouver la méthodologie proposée et d'effectuer les corrections nécessaires en retour d'expérience. Un des points également intéressants à évaluer sera l'aspect matériau à double température de refusion pouvant permettre in fine l'assemblage de composants lourds sur la face arrière du PCB (et assouplir ainsi les règles de conception des PCB).

Sur le cahier des charges de la validation fonctionnelle, nous nous attacherons à adresser deux aspects complémentaires :

- tout d'abord, nous listerons les contraintes environnementales standards à subir pour l'automotive et le spatial au travers de plans d'essais standards normés (par exemple, suivant les normes ECSS pour le domaine spatial, à savoir les normes ECSS-Q-ST-70-08C et ECSS-Q-ST-70-38C) et nous essayerons de définir un plan de test commun répondant aux contraintes des deux secteurs,
- ensuite, nous réfléchirons aux essais spécifiquement liés à la structure physique (vraisemblablement originale) du joint brasé obtenu avec cette crème à braser

nouvelle. Par exemple, ayant obtenu, après profil thermique, un joint fritté poreux, il sera intéressant de voir l'effet de l'humidité sur ce type de joint. Il pourra être également effectué quelques essais de cyclages en température pour voir l'effet de l'assemblage sur cette nature originale.

Pour des raisons financières (hormis apports supplémentaires) et de planning (pour ce projet, le timing de développement d'un nouveau matériau et de ses procédés technologiques associés est incompatible de sa validation fonctionnelle), les essais standards des secteurs automobile et spatial ne seront pas effectués. Concernant les essais spécifiquement liés à la structure physique du joint, certains essais élémentaires pourront être réalisés (fonction de leur criticité) et le choix sera fait durant la réalisation du projet.

Tâche 1-3 : Jet printing de crème à braser – analyse du besoin, spécifications des essais et des caractérisations

Les activités de cette tâche seront les suivantes :

- Position du problème, identification des limitations de la sérigraphie, proposition de cas d'emploi et bénéfices potentiels apportés par le jet printing (IRT, TAS)
- Cahier des charges procédé « jet printing » (IRT, TAS) : définition des composants à étudier, des dépôts recherchés, des paramètres technologiques d'étude
- Cahiers des charges sur la caractérisation liée au VT du jet printing (IRT, TAS) : méthode de validation du dépôt de crème par jet printing, méthode de validation de la crème adaptée au jet printing (caractérisation intrinsèque de la crème, paramètres de refusion et caractérisation du joint brasé).

7.1.5. Description des travaux des partenaires (si projet collaboratif)

Non applicable

7.1.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D1	Etat de l'art sur une crème à braser nouvelle génération	IRT	RF	T0+25 (avec itération successive)
D2	Spécifications des matériaux à développer et de leurs caractérisations associées	IRT	RF	T0+2
D3	Jet printing : spécifications des essais et de leurs caractérisations	IRT	RI	T0+4

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifiez le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.1.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	3
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	3
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	6

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.1.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés


Non applicable

Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Dépenses de sous-traitance

- Activités des laboratoires publics :
 - Non applicable
- Libellé autre dépense de sous-traitance :
 - INVENTEC : 10k€ pour les prestations décrites précédemment (devis à établir) (1)
 - TAS : 20k€ pour les prestations décrites précédemment (devis à établir) (1)
 - CONTINENTAL : 10k€ pour les prestations décrites précédemment (devis à établir) (1)

(1) Enveloppe prévue à ce jour au budget et sera sanctuarisée sans réponse sur un devis.

Soumission de projet	Convention	ANR-10-AIRT-01	An	2014	
	IRT SAINT EXUPERY				
	Projet	NANO			Page 39/66

Autres dépenses

Non applicable

7.1.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Partenaire	Exercice p.m
Total personnel partenaires	

Néant.

-

7.1.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard
Lot 2	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas
Lot 6	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas
Lot 7	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas
Lot 8	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas

(1) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

7.2. Lot 2 – Revue et choix des approches techniques (lot collaboratif)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	<i>Matériaux</i>				
Projet	NANO				
Lot	N° 2	T0 :	T0+2	TF :	T0+4
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche collaborative	Durée :	1
Partenaires	IRT	INVENTEC	CIRIMAT	CONTINENTAL	TAS
Efforts (hommes.mois)	2	1	1	0.5	0.5

7.2.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Responsable du lot
CIRIMAT	Partenaire
INVENTEC	Partenaire
THALES ALENIA SPACE	Partenaire
CONTINENTAL	Partenaire

7.2.2. Objectifs techniques du lot

Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.

Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.

Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.

Verrous	Actuel	Visé
Non applicable		

7.2.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

Non applicable


7.2.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de fournir les sorties du LOT 1, d'explicitier aux partenaires de ce lot collaboratif les objectifs et exigences visés et de vérifier l'adéquation des choix proposés aux différents cahiers des charges.

L'IRT aura également pour objectif de dégager au moins deux axes stratégiques à suivre.

7.2.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 41/66

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

CIRIMAT

Une étude bibliographique sera menée pour connaître précisément les solutions de brasage basses températures retenues ou pressenties à la date de démarrage du projet, les compositions d'alliages métalliques à bas point de fusion, les structures cristallines connues des oxalates des métaux constitutifs de ces alliages, ainsi que les éventuelles possibilités de solutions solides entre ces oxalates.

La recherche bibliographique pourra aussi être complétée par le calcul de diagrammes de phases à partir d'un logiciel dédié (Factsage ou Thermocalc). Lorsque les travaux de bibliographie seront suffisamment avancés (T0+2 mois), un travail de réflexion sera mené pour définir les compositions à étudier prioritairement.

A ce stade quelques expériences préliminaires devront être menées pour valider la pertinence des pistes de recherches envisagées.

INVENTEC

INVENTEC participera aux réflexions proposées par le CIRIMAT et fournira son expertise dans le domaine des poudres pour formulations des crèmes à braser mais également des additifs.

CONTINENTAL AUTOMOTIVE

CONTINENTAL AUTOMOTIVE participera à la réflexion en apportant son expérience des brasures sans plomb, en rappelant ses contraintes sur la crème et les procédés technologiques associés et en validant (par rapport à ses besoins) les options choisies pour la suite du projet.

THALES ALENIA SPACE

THALES ALENIA SPACE participera à la réflexion en en rappelant ses contraintes sur la crème et les procédés technologiques associés et en validant (par rapport à ses besoins) les options choisies pour la suite du projet.

7.2.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D4	Roadmap des axes stratégiques de développement poudre/crème du projet	IRT	RF	T0+4

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifier le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.2.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	1
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	1
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	2

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.2.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés

Non applicable


Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable

7.2.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Partenaire	Exercice p.m
INVENTEC	1
CIRIMAT	1
CONTINENTAL AUTOMOTIVE	0.5
THALES ALENIA SPACE	0.5
Total personnel partenaires	3


Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01		An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY			
	Projet	NANO		Page 43/66

7.2.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard
Lot 3	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas

(2) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 44/66

7.3. Lot 3 – Synthèse de particules (lot collaboratif)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	<i>Matériaux</i>				
Projet	NANO				
Lot	N° 3	T0 :	T0+5	TF :	T0+18
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche collaborative	Durée :	14
Partenaires	IRT	CIRIMAT			
Efforts (hommes.mois)	19	13.5			

7.3.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
CIRIMAT	Responsable du lot
IRT	Partenaire

7.3.2. Objectifs techniques du lot


Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.

Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.

Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.

Verrous	Actuel	Visé
Formulation de particules répondant au cahier des charges défini dans le Lot 1	TRL 1	TRL 3

Au titre de l'état de savoir-faire, des travaux conduits antérieurement par l'Institut Carnot CIRIMAT (IC CIRIMAT) et la société Thales Alenia Space (TAS) ont montré qu'une décomposition thermique contrôlée de précurseurs oxaliques d'argent fait naître des particules dont la taille nanométrique leur confère une très grande aptitude au frittage. Un traitement thermique à seulement 300°C permet ainsi de braser des composants d'électronique de puissance sur des semelles or-diamant. Au final l'argent assurant la brasure est suffisamment densifié pour posséder des conductivités électriques ou thermiques de l'ordre de 25% des valeurs théoriques de ces caractéristiques physiques pour l'argent pur. L'objet de la présente étude est de concevoir et d'élaborer des matériaux innovants permettant de réaliser des brasures à des températures comprises entre 175 et 185°C possédant des conductivités électriques élevées et une très bonne à excellente tenue mécanique. Dans ce but, il est envisagé d'utiliser, lors de l'opération de brasage, le concept de formation de particules nanométriques in situ à partir de précurseurs oxaliques, dont la pertinence a été démontrée par les travaux conjoints IC CIRIMAT – TAS. La présente étude

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 45/66

portera donc sur la mise au point d'oxalates simples ou mixtes, mono ou polyphasés, dont la décomposition thermique en dessous de 185°C, permettra d'établir la liaison mécanique, électrique et thermique entre des composants électroniques et leur support. Le CIRIMAT a déjà une très forte connaissance des oxalates d'argent et de cuivre. Quasiment tous les produits de brasure pour de l'assemblage sur circuit imprimé sont à base d'étain pour SA conductivité électrique et son point de fusion relativement bas (232°C). La première activité du CIRIMAT pourrait être alors la synthèse de l'oxalate d'étain.

Les pistes technologiques envisagées pour lever les verrous seront issues du Lot 2.

7.3.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

Non applicable

7.3.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de fournir les sorties du LOT 1, d'explicitier aux partenaires de ce lot collaboratif les objectifs et exigences visés et de vérifier l'adéquation des choix proposés aux différents cahiers des charges. Au travers d'un doctorant pris directement en charge, l'IRT sera enfin partie prenante des activités du CIRIMAT décrites ci-dessous.

7.3.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

CIRIMAT

Les précurseurs oxaliques seront élaborés par voie chimique dans des solvants aqueux ou hydro-alcooliques en cherchant à obtenir, de préférence, des particules de taille micrométrique. Ce domaine de taille s'est en effet avéré bénéfique lors des travaux menés sur les pâtes à braser à base d'oxalate d'argent et permet d'éviter les contraintes hygiène et sécurité du travail liées aux particules submicroniques et nanométriques. Dans le cas d'oxalates renfermant différents cations, une attention particulière sera portée à l'élaboration d'oxalates monophasés ou d'oxalates polyphasés très homogènes, afin d'éviter les phénomènes de ségrégation lors de la préparation et du stockage de la pâte à braser finale. Dans cette activité, si un produit de synthèse s'avère particulièrement en phase avec le cahier des charges défini dans le Lot 1, il pourra être également prévu une optimisation pour améliorer encore les performances attendues. Les poudres synthétisées seront alors caractérisées dans le Lot 6 selon le cahier des charges « Caractérisation » du Lot 1.

7.3.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D5	Synthèse technique sur le développement de poudres	CIRIMAT	RF	T0+18

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classer le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.3.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	5
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4) – CIRIMAT	14
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	19

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.3.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés

Les précurseurs oxaliques seront élaborés par l'IRT par voie chimique dans des solvants aqueux ou hydro-alcooliques avec des moyens disponibles au CIRIMAT.

Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable


7.3.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Partenaire	Exercice p.m
CIRIMAT	13.5
Total personnel partenaires	13.5

7.3.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Soumission de projet	Convention	ANR-10-AIRT-01	An	2014	
	IRT SAINT EXUPERY				
	Projet	NANO			Page 47/66

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard
Lot 4	OUI	Echec des voies stratégiques proposées	Incidence planning mineure à majeure suivant le retard pris. Si fort retard, les lots suivants seront redimensionnés en fonction du planning restant.
Lot 6	OUI	Echec des voies stratégiques proposées	Incidence planning mineure à majeure suivant le retard pris. Si fort retard, les lots suivants seront redimensionnés en fonction du planning restant.

(3) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

7.4. Lot 4 – Formulation de crème à braser (lot collaboratif)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	<i>Matériaux</i>				
Projet	NANO				
Lot	N° 4	T0 :	T0+8	TF :	T0+21
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche collaborative	Durée :	14
Partenaires	IRT	INVENTEC			
Efforts (hommes.mois)	5	6			

7.4.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Partenaire
INVENTEC	Responsable du lot
CIRMAT	Partenaire

7.4.2. Objectifs techniques du lot

Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.


Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.

Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.

Verrous	Actuel	Visé
Formulation d'une crème à braser répondant au cahier des charges défini dans le Lot 1	TRL 1	TRL 3

INVENTEC développe des crèmes à braser depuis plus de 25 ans qui répondent aux contraintes de production et aux exigences de fiabilité de ses clients. Ces crèmes développées pour le brasage CMS répondent au nombre croissant de challenges dans l'industrie électronique dû à la fois à l'évolution de la technologie elle-même, et au challenge législatif : miniaturisation, bannissement de l'halogène, bannissement du plomb, technologies embarquées.

Une crème à braser est typiquement composée de poudre métallique mélangée dans un gel dont le rôle est de fournir la bonne thixotropie et rhéologie, d'éliminer les oxydes de surface sur le substrat de report, d'empêcher l'oxydation des poudres et de réduire les tensions de surface pour améliorer la mouillabilité. L'objectif de cette activité sera le développement d'une crème nouvelle génération basée sur la synthèse des poudres issues du lot 5. Dans cette activité, si une formulation s'avère particulièrement en phase avec le cahier des

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 49/66

charges défini dans le Lot 1, il pourra être également prévu une optimisation pour améliorer encore les performances attendues.

Les pistes technologiques envisagées pour lever les verrous seront issues du Lot 2.

7.4.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

Non applicable

7.4.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de fournir les sorties du LOT 1, d'explicitier aux partenaires de ce lot collaboratif les objectifs et exigences visés et de vérifier l'adéquation des choix proposés aux différents cahiers des charges. L'IRT fournira les particules nécessaires (poudres issues du Lot 5) à INVENTEC afin de pouvoir formuler la crème à braser nouvelle génération et, au travers du doctorant, donnera des informations techniques sur ces poudres.

7.4.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

INVENTEC

Ces poudres, précurseurs oxaliques issus du Lot 5 afin de bénéficier de plusieurs centaines de grammes, seront éventuellement des matériaux de dimension plus petite et de forme géométrique très différente des poudres communément utilisées. Le travail d'INVENTEC sera de trouver les additifs adéquats (résine, activateurs, solvants, agents thixotropiques, ...) permettant d'atteindre les caractéristiques issues du cahier des charges « crème à braser » défini dans le Lot 1 (viscosité, mouillabilité, nettoyage, ...). Un retour pourra être fait par INVENTEC vers le CIRIMAT et l'IRT afin de voir si la taille, la forme, ... de ces poudres doivent être prises en compte pour une itération successive.

Les formulations proposées seront alors caractérisées dans le Lot 6 selon le cahier des charges « Caractérisation » du Lot 1.

7.4.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D6	Synthèse technique sur le développement de crèmes à braser	INVENTEC	RF	T0+21

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifier le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.4.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	3
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	2
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	5

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.4.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés

Non applicable

Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable


7.4.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Partenaire	Exercice p.m
INVENTEC	6
Total personnel partenaires	6


7.4.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Soumission de projet	Convention	ANR-10-AIRT-01	An	2014	
	IRT SAINT EXUPERY				
	Projet	NANO			Page 51/66

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard
Lot 6	OUI	Echec des voies stratégiques proposées	Incidence planning mineure à majeure suivant le retard pris. Si fort retard, les lots suivants seront redimensionnés en fonction du planning restant.
Lot 8	OUI	Echec des voies stratégiques proposées	Incidence planning mineure à majeure suivant le retard pris. Si fort retard, les lots suivants seront redimensionnés en fonction du planning restant.

(4) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 52/66

7.5. Lot 5 – Changement d'échelle (lot de recherche en propre IRT)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	Matériaux				
Projet	NANO				
Lot	N° 5	T0 :	T0+7	TF :	T0+19
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche en Propre	Durée :	13
Partenaires	IRT				
Efforts (hommes.mois)	4				

7.5.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Responsable du lot

7.5.2. Objectifs techniques du lot

Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.

Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.

Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.

Verrous	Actuel	Visé
Passage à l'échelle du laboratoire à celui d'une ligne pilote pour la synthèse de poudres	TRL 3	TRL 4


Dans le cadre du Lot 3, le CIRIMAT peut synthétiser, au niveau de son laboratoire, des poudres de l'ordre de quelques grammes. Ceci est suffisant pour voir si le développement est conforme au cahier des charges du Lot 1. Toutefois, cette quantité est largement insuffisante pour qu'INVENTEC puisse ensuite formuler une crème à braser constituée de ces poudres. Grâce à des installations « pilotes » et « semi-pilotes » (exceptionnelles pour un laboratoire de recherche) localisées notamment en salle blanche pour certaines en salle propre, des changements d'échelles peuvent être effectués pour des opérations de transfert industriel, avec des spécialistes de ces procédés.

7.5.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

Non applicable

7.5.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de synthétiser, grâce aux équipements de la ligne pilote mis à disposition par le CIRIMAT, plusieurs centaines de grammes de poudres (ainsi que la fiche de caractérisation du lot fabriqué associée, caractérisations conformes aux essais décrits

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 53/66

dans le Lot 6) en adéquation au cahier des charges défini dans le Lot 1 afin de fournir une partie de la matière première nécessaire à INVENTEC pour la formulation de crèmes (Lot 4).

7.5.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

Non applicable

7.5.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D7	Fiches techniques de caractérisation de chaque lot de poudres obtenues par changement d'échelle (scale-up)	IRT	RI	T0+19

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifier le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.5.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	2
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	2
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	4

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.


(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.5.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 54/66

Moyens utilisés

L'IRT s'appuiera sur le personnel et les moyens mis à disposition par le CIRIMAT dans le cadre de sa ligne pilote (il ne s'agit pas de moyens propres à l'IRT).

Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable

7.5.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Non applicable.

7.5.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard
WP4	OUI	Echec des voies stratégiques proposées	Incidence planning mineure à majeure suivant le retard pris. Si fort retard, les lots suivants seront redimensionnés en fonction du planning restant.

(5) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

7.6. Lot 6 – Caractérisations (lot de recherche en propre IRT)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	Matériaux				
Projet	NANO				
Lot	N° 6	T0 :	T0+6	TF :	T0+28
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche en Propre	Durée :	23
Partenaires	IRT				
Efforts (hommes.mois)	24				

7.6.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Responsable du lot

7.6.2. Objectifs techniques du lot

Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.

Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.


Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.

Verrous	Actuel	Visé
Non applicable		

Cette activité ne représente pas véritablement un verrou technologique dans la mesure où il s'agit d'utiliser des moyens et des procédures maîtrisés permettant de renseigner sur les caractéristiques des matériaux (poudres, crème, ...) formulés et de voir s'ils sont en accord avec les cahiers des charges du Lot 1.

7.6.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

#	Désignation	Responsable	Description – Verrous technologiques adressés	Qual (1)
6.1	Poudres	IRT	Caractérisation des précurseurs oxaliques	RI
6.2	Crème à braser	IRT	Caractérisation élémentaire d'une crème à braser nouvelle génération	RI
6.3	Assemblage	IRT	Caractérisation d'une crème à braser nouvelle génération et du joint brasé sur des composants assemblés (chips, flat-pack, ...)	RI

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 56/66

7.6.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de caractériser les différents matériaux générés au sein de ce projet :


- Tâche 6.1 : Poudres et particules métalliques ou d'alliages (obtenus par décomposition dans le cadre du Lot 3 ou du Lot 5)
 - température de fusion/frittage
 - dosage chimique,
 - diffraction des rayons X (analyse de phases, tailles de cristallites, transformation sous l'effet des traitements thermiques),
 - microscopie électronique à balayage et analyse EDX (et microscopie électronique à transmission si nécessaire),
 - analyses thermiques (thermogravimétrie, analyse thermique différentielle, calorimétrie), mesures de surface spécifique par adsorption de gaz (pour les oxalates les plus stables),
 - ...

Ces caractérisations seront effectuées principalement grâce aux moyens du CIRIMAT.

- Tâche 6.2 : Formulation de crèmes à braser issues du Lot 4
 - température de fusion/frittage
 - viscosité
 - mouillabilité
 - affaissement
 - coalescence

Ces caractérisations seront effectuées principalement grâce aux moyens d'INVENTEC et correspondent aux essais standards de caractérisation d'un fabricant de crème à braser.

- Tâche 6.3 : Caractérisation de crèmes standards (avec/sans Plomb) et de crèmes à braser nouvelle génération et de leurs joints brasés sur des composants assemblés
 -
 - test de cisaillement et nature de rupture
 - radiographie rayons X
 - analyse de la microstructure du joint brasé après micro-section par observation visuelle ou électronique
 - ...

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet NANO		
			Page 57/66

Ces caractérisations seront effectuées principalement grâce aux moyens du LAAS (profilomètre optique, caméra infra-rouge) et de Thales Alenia Space (machine de cisaillement DAGE, moyens de rayons X, micro-sections, microscopie électronique).

Ces essais correspondent aux essais standards d'un industriel pour caractériser le joint brasé d'un composant reporté sur un circuit imprimé.

7.6.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

Non applicable

7.6.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D8	Synthèse technique sur la caractérisation des poudres et particules métalliques ou d'alliages	IRT	RI	T0+20
D9	Synthèse technique sur la caractérisation des crèmes à braser nouvelle génération	IRT	RI	T0+22
D10	Synthèse technique sur la caractérisation d'un joint brasé obtenu avec des crèmes à braser nouvelle génération	IRT	RI	T0+28

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifiez le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.6.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	10
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	14
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	24

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.6.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés

L'IRT utilisera les moyens suivants :

- du CIRIMAT pour la caractérisation des poudres
 - dosage chimique,
 - diffraction des rayons X,
 - microscopie électronique à balayage et analyse EDX (et microscopie électronique à transmission si nécessaire),
 - analyses thermiques (thermogravimétrie, analyse thermique différentielle, calorimétrie)
 - mesures de surface spécifique par adsorption de gaz (pour les oxalates les plus stables)
- d'INVENTEC pour la caractérisation des crèmes à braser
 - TBD,
 - TBD,
 - TBD,
- du LAAS sur les essais de procédés technologiques et de caractérisation des crèmes à braser nouvelle génération
 - profilomètre optique,
 - caméra infra-rouge bolométrique,
- de Thales Alenia Space pour la caractérisation des joints brasés
 - radiographie Rx
 - microsections
 - machine de cisaillement DAGE

Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable

7.6.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Non applicable

7.6.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard

(6) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

Non applicable

7.7. Lot 7 – Conception et réalisation des pièces élémentaires (lot de recherche en propre IRT)

Paragraphe à dupliquer pour chaque lot auquel participe l'IRT.

Dans le cas d'un lot scindé en plusieurs tâches, le § 5.1.2 doit être lui-même divisé selon ces tâches. Le volume d'effort doit alors être fourni au niveau de la tâche.

Domaine	Matériaux				
Projet	NANO				
Lot	N° 7	T0 :	T0+4	TF :	T0+13
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche en Propre	Durée :	10
Partenaires	IRT				
Efforts (hommes.mois)	4				

7.7.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Responsable du lot

7.7.2. Objectifs techniques du lot

Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.

Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.

Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.

Verrous	Actuel	Visé
Non applicable		

L'objectif de cette activité est concevoir puis d'approvisionner l'ensemble des pièces élémentaires servant à la réalisation de maquettes des différents lots ultérieurs (WP6 et WP8). Ceci concernera, par exemple, les circuits imprimés et les composants permettant de tester et caractériser la crème à braser développée.

Cette activité ne présente pas un verrou technologique.

7.7.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

#	Désignation	Responsable	Description – Verrous technologiques adressés	Qual (1)
7.1	Conception	IRT	Conception des pièces élémentaires	RI
7.2	Approvisionnement	IRT	Approvisionnement des pièces élémentaires	RI

7.7.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de :

- Tâche 7.1 : Conception des pièces élémentaires (issues des sorties du Lot 1)

Cette activité portera sur la conception de pièces élémentaires (PCB, définition composants, outillages, ...) permettant d'appliquer la méthodologie développée dans la tâche 1.2 et permettant :

- la validation des procédés technologiques CMS (sérigraphie, placement composant, paramètres de refusion ...) en s'adaptant sur les moyens du LAAS.
- la caractérisation de la crème à braser au niveau de l'industriel (compatibilité finition PCB, essais de coalescence, essai d'affaissement, ...) et du joint brasé

Cette activité de conception sera effectuée par le LAAS.

- Tâche 7.2 : Approvisionnement des pièces élémentaires

Cette activité portera sur l'approvisionnement de l'ensemble des pièces élémentaires définis préalablement dans la tâche 7.1 et servant pour la tâche 8.2.

Cette activité sera effectuée par le LAAS.

7.7.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

Non applicable

7.7.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D11	Synthèse technique sur la conception et fichiers CAO pour fabrication PCB de test	IRT	RI	T0+13
D12	Procès-verbaux de réception des pièces élémentaires et conformité au cahier des charges défini	IRT	RI	T0+13

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifiez le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.7.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	4
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	4

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.7.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés

L'IRT utilisera les moyens de CAO du LAAS pour la conception des pièces élémentaires.

Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable

7.7.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Non applicable.

7.7.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard
WP6	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas.
WP8	OUI	NON APPLICABLE	Incidence planning mineure à gérer au cas par cas.

(7) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

7.8. Lot 8 – Evaluation et optimisation des procédés technologiques

Domaine	<i>Matériaux</i>				
Projet	NANO				
Lot	N° 8	T0 :	T0+3	TF :	T0+27
Qualification recherche	RF	Type de recherche	Recherche en Propre	Durée :	25
Partenaires	IRT				
Efforts (hommes.mois)	8				

7.8.1. Partenaires et responsable du Lot

Entité	Rôle
IRT	Responsable du lot

7.8.2. Objectifs techniques du lot

*Indiquer quels sont les verrous technologiques concernés par le lot et affiner leur description.
Préciser l'état de savoir-faire des partenaires au démarrage du projet et le résultat attendu à son issue.
Indiquer la ou les pistes technologiques envisagées pour le lever les verrous décrits.*

Verrous	Actuel	Visé
Evaluation du jet printing	TRL 3	TRL 4
Evaluation des procédés technologiques sur la crème à braser sans Plomb à bas point de fusion	TRL 1	TRL 3

Ce lot concerne l'ensemble des activités technologiques afférant aux crèmes à braser évaluées ou développées dans le cadre de ce projet.

Les deux tâches sont indépendantes, traitent de sujets différents mais complémentaires :

- dans la tâche 8.1, l'objectif sera d'évaluer les bénéfices apportés par le procédé de jet printing sur des crèmes à braser spécifiquement développées pour ce procédé et disponibles commercialement relativement depuis peu (<5 ans)
- dans la tâche 8.2, l'objectif portera sur l'évaluation des procédés technologiques et des activités connexes concernant la crème à braser sans Plomb à bas point de fusion au cœur de ce projet.

Pour la tâche 8.1, Thales Alenia Space (sur lequel s'appuiera l'IRT) possède depuis plus de 10 ans une machine de dépôt automatique (pour du développement) de produits avec différentes technologies de valves (permettant par exemple le collage, l'enrobage, l'underfill

... de composants) et maîtrise son fonctionnement. Par ailleurs, TAS a déjà une expérience dans le procédé du jet printing (avec une valve spécifique) pour des matériaux underfiller.

Pour la tâche 8.2, l'IRT s'appuiera sur les moyens du LAAS qui dispose de machines de laboratoire adaptées à de l'assemblage CMS.

7.8.3. Décomposition du lot en tâches (optionnel)

#	Désignation	Responsable	Description – Verrous technologiques adressés	Qual (1)
8.1	Jet printing	IRT	Evaluation du jet printing sur solutions commerciales actuelles	RI
8.2	Procédés sur crème à braser NG	IRT	Analyse des procédés CMS sur crème à braser nouvelle génération sur moyens de laboratoire	RI

7.8.4. Description des travaux de l'IRT

Le rôle de l'IRT sera de :

- Tâche 8.1 : Evaluation du jet printing sur solutions commerciales actuelles – selon cahier des charges défini dans le Lot 1
 - Revue des solutions de crèmes commerciales existantes et sélection d'au moins deux crèmes à braser intéressantes pour des essais préliminaires (IRT, TAS)
 - Essais de jetting sur ces crèmes sélectionnées (essais de jetting de points, réalisation de motifs simples et complexes) permettant d'arriver à une matrice de choix (IRT, TAS)
 - Recherche des paramètres de dépôt influents par jetting (IRT, TAS)
 - Evaluation intrinsèque des crèmes à braser (essais de refusion, solder ball test, slump test, ...) (IRT, TAS)
 - Réalisation de VT permettant d'évaluer tous les procédés CMS sur la base d'une seule crème sélectionnée (jetting standard et jetting 3D, pick and place, refusion, nettoyage, micro-section pour analyse des joints, ...) (IRT, TAS)
 - Essais de fiabilité du joint brasé obtenu avec une crème pour jet printing et évaluation du joint assemblé (essais d'environnement, microsection) (IRT, TAS)

Ces travaux seront effectués grâce aux moyens mis à disposition par Thales Alenia Space.

- Tâche 8.2 : Analyse des procédés CMS sur crème à braser nouvelle génération (NG) sur moyens de laboratoire

Cette étude sera menée principalement en utilisant les moyens du LAAS et permettra de définir les conditions générales d'application de la crème à braser nouvelle génération développée dans le cadre de ce projet avec des moyens de laboratoire (essais de discrimination). Dans cette tâche 8.2, les VT associés à cette étape seront issus des

dossiers de fabrication définis dans le Lot 7 et traiteront de cas de composants principalement simples (résistances, capacités, flat-pack, ..). On pourra, en fonction des résultats obtenus, éventuellement traiter le cas des composants plus complexes (QFN, BGA, ...).

L'approche développée dans ce lot sera la suivante :

- Validation de la méthodologie proposée dans le Lot 1 sur deux solutions commerciales (1 avec plomb (TAS) et 1 sans plomb (CONTINENTAL)) et application des corrections associées (si nécessaire). Ceci correspond à l'étape de validation sur des crèmes à braser standards dans le diagramme de Gantt.
- Application de cette méthodologie sur les formulations issues du projet NANO (sur la base de 2 batchs différents de formulations, chaque batch pouvant contenir typiquement 5 variantes)

Ce sont les véhicules de test comportant des composants électroniques assemblés sur circuit imprimé qui seront injectées dans le Lot 6 (tâche 6.3) pour l'analyse du joint brasé.

Il sera par ailleurs pris en compte l'aspect double température de refusion apportée par la crème développée avec le report de composants lourds en face arrière du PCB.

7.8.5. Description des travaux des partenaires

Descriptif des travaux réalisés le partenaire éventuel et des points de collaboration avec l'IRT.

Le cas échéant, distinguer la contribution du partenaire en fonction des pistes technologiques envisagées.

Non applicable

7.8.6. Jalons et livrables du lot

Décrire en particulier la nature des livrables attendus, et à quels travaux ils se rapportent.

Référence	Description	Responsable (1)	Classification (2)	Délai (3)
D13	Synthèse technique sur l'évaluation du procédé par jet printing de crèmes commerciales	IRT	RI	T0+11
D14	Synthèse technique sur le comportement de la crème à braser sans Plomb à bas point de fusion vis-à-vis des procédés technologiques	IRT	RI	T0+25

(1) IRT ou partenaire

(2) En accord avec les travaux accomplis, classifier le livrable en tant que RF, RI ou DE

(3) Date relative par rapport au début du projet.

7.8.7. Ressources humaines de l'IRT pour le lot

Equivalents temps plein en personne.mois (p.m)

Participants	Budget total p.m
Directeurs & experts (2)	
Ing. & chercheurs confirmés (3)	8
Ing. & chercheurs débutants (4)	
« Postdocs » (4)	
Doctorants (4)	
Techniciens (4)	
Total personnel IRT et assimilé	8

(1) Personnel dont la charge de travail est comptabilisée comme ressources IRT dans la fiche financière).

(2) A regrouper en catégorie 1 dans la fiche financière du projet.

(3) A regrouper en catégorie 2 dans la fiche financière du projet.

(4) A regroupe en catégorie 3 dans la fiche financière du projet.

(5) Cumul fin d'exercice / budget total.

7.8.8. Autres moyens utilisés par l'IRT

Description des moyens utilisés pour les travaux décrits ci-dessus.

Description des autres postes de dépenses significatifs jugés nécessaires.

Les descriptifs doivent comporter l'utilisation des moyens concernés et sa justification technique ; ces informations peuvent être renvoyées à des points précis du descriptif des travaux

Moyens utilisés

Pour l'évaluation du procédé de dépôt de crème à braser par jet printing, l'IRT utilisera les moyens mis à disposition par TAS (machine de jet printing ASYMTEK S820 pour la réalisation des essais de jet printing, moyens de production standard CMS pour l'évaluation des procédés connexes, moyens d'analyse et de vieillissement).

Pour l'évaluation du procédé de dépôt de crème à braser nouvelle génération à bas point de fusion, l'IRT utilisera les moyens mis à disposition par le LAAS (moyens de laboratoire) :

- Moyens standard CMS pour l'évaluation des procédés technologiques tels qu'une machine de sérigraphie DEK ou un four à refusion
- Moyens d'analyse tels qu'un profilomètre optique, une machine de rayons X


Autres postes de dépenses significatifs (pour T1)

Non applicable

7.8.9. Ressources humaines des partenaires pour le lot

Indiquer les équivalents temps plein toute qualifications confondues, en personne.mois .

Non applicable.

Soumission de projet	Convention ANR-10-AIRT-01	An 2014	
	IRT SAINT EXUPERY		
	Projet	NANO	Page 66/66

7.8.10. Dépendances amont et décisions correspondantes

Indiquer les autres lots dont dépendent la réalisation du lot et les conséquences en cas de retard ou échec de ces lots.

Lots dont dépendent le lot décrit	(1)	Conséquences en cas d'échec	Conséquences en cas de retard

(8) Indiquer ici si le début du lot décrit nécessite la fin du lot mentionné dont il dépend.

Non applicable