

Projet de recherche collaboratif entre le LAAS-CNRS et Exagan

Conception d'interrupteurs de puissance HEMT en Nitrure de Gallium

1. Contexte de l'étude

Le domaine de l'énergie représente pour le 21^e siècle un axe de développement majeur autour duquel se focalisent dorénavant les recherches tant en termes économiques, industriels qu'environnementaux. La baisse inéluctable des énergies fossiles et la prise en considération de plus en plus importante des risques, liés à l'émission de gaz à effet de serre sur le climat et à la pollution, induisent dans le monde un effort important pour développer la production d'énergies alternatives et réduire la consommation énergétique par les utilisateurs. Ainsi, ces évolutions du secteur de l'énergie sont en train de générer des changements majeurs. Le passage à la traction hybride et électrique pour les transports terrestres, voire aériens, le couplage des énergies renouvelables au réseau électrique, la généralisation dans l'habitat des systèmes motorisés, l'introduction de l'éclairage basse tension et la convergence « bâtiment / transport » contribueront de façon significative à l'efficacité énergétique et à la diminution des rejets de CO₂. Ils vont en outre, nécessiter une gestion performante des ressources, du stockage et de l'utilisation de l'énergie.

Dans ce contexte de généralisation de solutions électriques, support d'un développement durable, la conception de nouveaux composants intégrés de puissance (principalement des interrupteurs) qui doivent gérer cette énergie est indispensable : il convient de minimiser les pertes, d'assurer une meilleure gestion de l'énergie électrique en améliorant, d'une part les caractéristiques intrinsèques des composants à semi-conducteurs, et, d'autre part, en proposant des fonctions et des systèmes de conversion intégrés. En effet, dans de nombreux domaines, l'accroissement des performances est lié à l'augmentation des tensions, fréquences et températures de fonctionnement des composants, mais également à une intégration totale basée le plus souvent sur une fabrication collective afin de conserver les possibilités de réduction de taille, de coût et de pertes.

2. Les semi-conducteurs à large bande interdite

Les semi-conducteurs à large bande interdite sont une solution pour obtenir l'amélioration drastique, voire une rupture, des performances des composants de puissance, limitées à ce jour par les limites du Silicium (Si). Les matériaux les plus prometteurs sont le carbure de silicium (SiC), le nitrure de gallium (GaN) et le diamant. Toutefois, le carbure de silicium et le nitrure de gallium présentent d'évidents avantages économiques par rapport au diamant. Par rapport au silicium, les principaux bénéfices apportés par ces matériaux sont un bon fonctionnement sur une large gamme de température, un champ électrique critique élevé, une saturation élevée de la vitesse de dérive des électrons et une grande conductivité thermique (sauf pour le GaN).

Les composants de puissance en SiC font l'objet de nombreuses recherches. Cependant, en dépit des résultats remarquables obtenus par plusieurs équipes, le coût des plaquettes SiC reste très élevé, le procédé technologique présente encore des difficultés et les substrats présentent de nombreux défauts (micropipes, inclusions,...). Cependant, des diodes Schottky, des transistors à effet de champ (JFET) normally-on et des transistors MOS sont, depuis peu, commercialisés.

3. Le Nitrure de Gallium

Les travaux de recherche sur les composants de puissance en GaN sont, quant à eux, plus récents. Dans les années 90, sous l'impulsion de groupes japonais, des progrès importants ont été réalisés sur la synthèse des nitrures de gallium (GaN), d'aluminium (AlN) et d'indium (InN). Ces progrès rapides ont stimulé un effort extraordinaire dans le monde entier sur ce thème et ont porté ces matériaux à un degré de maturité suffisant pour le développement de composants, surtout dans le domaine des diodes électroluminescentes bleues ou vertes. Les applications sont nombreuses, s'étendant aujourd'hui aux lasers bleus-UV pour l'enregistrement numérique à très haute densité. Puis, durant les années 2001-2005, on a pu noter des progrès substantiels mais essentiellement limités à des composants de puissance latéraux normally-on — ce sont des High Electron Mobility Transistors (HEMT) —, dédiés principalement aux communications hyperfréquences.

Utiliser le GaN pour réaliser des interrupteurs de puissance peut également être intéressant : en effet, le GaN est un matériau semi-conducteur plus performant que le Si ou le SiC en terme de compromis "résistance passante spécifique / tenue en tension", qui est le facteur de mérite le plus important pour un interrupteur de puissance. Il est donc prévisible qu'un convertisseur utilisant de tels composants présentera des pertes à l'état passant très inférieures à une solution utilisant des composants en Silicium. Enfin, contrairement au SiC qui doit obligatoirement être réalisé par croissance cristalline sur un substrat de même composition et, en général, de faible diamètre, le GaN peut être déposé par hétéro-épitaxie sur des substrats en Silicium, permettant ainsi une production sur des plaquettes de surface plus importante (150 à 200 mm de diamètre) et bas coût.

C'est pour toutes ces raisons (excellentes propriétés électriques et thermiques, coût de fabrication non prohibitif) que l'utilisation du GaN pour la conception des dispositifs de puissance du futur apparaît aujourd'hui comme une « évidence » pour de nombreux acteurs du domaine de l'électronique de puissance, depuis les fondeurs et les laboratoires de recherche jusqu'aux utilisateurs des circuits : le GaN devrait en effet permettre la conception de composants haute tension avec une chute à l'état passant réduite, travaillant à des fréquences beaucoup plus élevées, du fait des temps de commutation faibles, et à des températures plus élevées, en raison de la faible concentration intrinsèque des porteurs par rapport à des structures similaires en Silicium.

D'ores et déjà, des progrès significatifs ont été obtenus sur les techniques de croissance d'hétérostructures GaN-sur-Si et ont permis la démonstration de transistors offrant une amélioration drastique des facteurs de mérite des convertisseurs de puissance. Ces transistors bas coût permettent en effet d'accroître à la fois le rendement de conversion et la densité de composant au cm^2 de par leur taille très compacte, ce qui devrait engendrer une rupture dans le domaine de l'électronique de puissance. De nouvelles architectures pour la conversion de puissance devraient être développées afin de bénéficier de toutes les potentialités de cette filière émergente. Les composants GaN-sur-Si devraient être une alternative de choix pour remplacer des technologies bien établies sur de nombreux produits. Leur taille compacte et leurs faibles coûts, associés à des performances bien plus élevées, permettront d'améliorer le rendement des systèmes. **Le GaN permet donc de répondre aux cinq difficultés des systèmes énergétiques que sont le refroidissement, le poids, l'encombrement, le rendement et le coût.**

4. Programme de recherche

Le projet présenté ici sera un travail collaboratif entre la société Exagan et le LAAS-CNRS. Il portera principalement sur l'étude théorique des composants de puissance, essentiellement autour du HEMT, principal interrupteur de puissance en GaN en Nitrure de Gallium. Cette étude sera plus précisément et principalement focalisée sur trois des problématiques majeures du domaine que sont l'obtention d'une tension de commande — ou tension de seuil — positive (fonctionnalité « normally-OFF »), la réduction de la résistance à l'état passant en mode dynamique et l'augmentation de la tenue en tension à l'état bloqué (OFF).

Tâche 1 : mise en place de la stratégie de simulation avec les outils SYNOPSIS SENTAURUS

Cette étude théorique se fera en partie à partir des connaissances et de l'expertise des deux partenaires en physique du semi-conducteur, en particulier les hétérostructures III-N et les composants de puissance, car l'interrupteur HEMT en GaN est à la croisée de ces deux disciplines très différentes à la base. Cette activité s'appuiera, comme toute activité de recherche, sur une veille bibliographique constante grâce au support du centre de documentation du LAAS-CNRS qui est abonné à toutes les revues scientifiques internationales majeures dans le domaine scientifique relevant du projet.

Cependant, la majeure partie du travail sera basée sur la simulation de transistors HEMT en GaN à partir des outils de simulation « Device » et « Process » disponibles dans la suite logicielle de SYNOPSIS SENTAURUS. L'utilisation de ces simulateurs nécessite au préalable leur étalonnage à partir des caractérisations électriques — et éventuellement physico-chimiques — qui seront effectuées sur les premiers composants GaN HEMT fournis par Exagan. Les données expérimentales recueillies ont deux buts majeurs : i) la compréhension physique, qualitative et/ou quantitative, du fonctionnement et des performances de ces composants, ii) la validation in fine des modèles utilisés dans les simulations par la comparaison 'simulation / expérience'. Les outils de SYNOPSIS SENTAURUS sont donc, d'une part un support précieux pour l'industriel au quotidien dans l'aide à la conception de ses composants et à l'amélioration des procédés technologiques de fabrication et, d'autre part un moyen de prédiction à la fois quantitatif (performances) et qualitatif (comportement) sur les futures structures que le projet se propose d'imaginer.

Tâche 2 : conception d'interrupteurs avancés GaN HEMT de puissance normally-OFF

Historiquement, les interrupteurs de puissance en GaN sont des HEMT qui doivent leur grande mobilité à l'interface AlGaIn/GaN (gaz 2D bidimensionnel) : en général, ces composants issus de la RF sont normally-ON (normalement conducteurs), c'est-à-dire qu'ils sont fermés lorsqu'aucune tension n'est appliquée sur sa commande, la grille ; en d'autres termes, la tension de pincement (ou tension de seuil) de ces composants est négative. Or, de nombreuses applications de l'électronique de puissance nécessitent, notamment dans une optique de simplification des circuits de commande et d'amélioration de la fiabilité des circuits, de développer des architectures de HEMT normally-OFF, c'est-à-dire des interrupteurs ouverts lorsque leur tension de commande est nulle et, par conséquent, une tension de seuil strictement positive.

Plusieurs structures de HEMT en GaN ont été récemment proposées afin de satisfaire à la fonctionnalité normally-OFF : les plus notables sont celles à « grille enterrée » (« recessed gate ») [1], à traitement aux ions fluor [2], à grille de jonction pn [3], à barrière fine d'AlGaIn [4], à couche de protection InGaIn [5], et à

injection dans la grille [6], [7]. On peut aussi citer les structures hybrides MOS-HEMTs [8], qui combinent les propriétés exceptionnelles des HEMTs (mobilités élevées) et des transistors MOS (courants de fuite faibles) et, enfin, les montages en cascode associant un HEMT en GaN à un transistor MOS en Si [9] mais ces derniers composants sont alors thermiquement limités par la température maximale de fonctionnement du transistor en Si. Il faut toutefois noter que les tensions de seuil V_{TH} observées sur la plupart des résultats reportés (de 0 à 3 V) sont encore trop faibles puisque les applications pratiques requièrent en général des tensions de seuil supérieures à 3 V. La démonstration de V_{TH} élevées, tout en conservant des performances exceptionnelles, reste donc un défi sur cette filière émergente. En outre, les solutions proposées dans la littérature présentent pour la plupart des inconvénients technologiques (gravures, épitaxies localisées et/ou ultra fines,...). Enfin, ces inventions sont toutes protégées par des brevets, ce qui oblige les partenaires du projet à imaginer ses propres architectures de composants. Ce travail est donc hautement stratégique à la fois pour la société Exagan (création d'un portefeuille de brevets conséquent) et pour le LAAS-CNRS (publications dans des revues et conférences internationales).

À l'aide de simulations 2D et éventuellement 3D, et en se basant sur les paramètres technologiques et géométriques de la filière en cours de développement chez Exagan, il s'agira ici d'imaginer, de définir et de fournir un (ou des) design(s) optimal(-aux) de ces composants ainsi que des nouvelles architectures de composants.

Tâche 3 : modélisation de la dégradation de la résistance à l'état passant en mode dynamique des GaN HEMT

Le phénomène de *drain current collapse* (littéralement : *effondrement du courant de drain*) est également connu sous le terme de *dégradation de la résistance à l'état passant en mode dynamique*. Lors d'une commutation, c'est-à-dire lorsque le HEMT passe du mode bloqué (OFF) au mode passant (ON), il apparaît que le courant à l'état passant est temporairement plus faible que le courant prévu en mode statique. On parle alors de résistance dynamique à l'état passant $R_{ON_dynamique}$. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la tenue en tension à l'état bloqué BV est importante. La résistance $R_{ON_dynamique}$ peut-être jusqu'à cent fois plus élevée que la résistance statique $R_{ON_statique}$. Cet état transitoire peut être extrêmement long (jusqu'à plusieurs heures). Selon la littérature, cette dégradation semble provenir d'un piégeage d'électrons qui désertent temporairement le canal du transistor. Ce piégeage dépend de la nature et la localisation des pièges et de l'intensité et la localisation des courants d'électrons. Cette dégradation est le principal frein à la commercialisation en masse de composants HEMT en GaN pour une tenue en tension de 600 V et au-delà. Il apparaît donc clairement que, aussi bien d'un point de vue industriel qu'académique, la compréhension des phénomènes physiques mis en jeu lors de ces commutations est fondamentale et hautement stratégique.

À l'aide de simulations 2D — il est prématuré, à ce stade, d'imaginer des simulations 3D en dynamique, en raison du maillage conséquent et des temps de calcul prohibitifs qui en découleraient — et de mesures en commutation qui pourront être effectuées dans la plateforme de caractérisation du LAAS-CNRS, nous nous proposons, d'une part d'identifier et comprendre les phénomènes mis en jeu lors de ces commutations et, d'autre part d'imaginer des stratégies d'amélioration des structures GaN HEMT d'Exagan afin d'atténuer et éliminer ce comportement dégradé.

Tâche 4 : Modélisation et simulation de la montée en tension des GaN HEMT

La montée en tension des interrupteurs de puissance GaN HEMT jusqu'à des valeurs supérieures à 600 Volts et allant jusqu'à 1,2 kV au moins est stratégique car de nombreuses applications de l'électronique de puissance (véhicules hybrides et électriques, applications du réseau électrique,...) ont besoin de tels composants. Physiquement, la tenue en tension des GaN HEMT est assurée selon les axes verticaux et latéraux. Verticalement, ce sont essentiellement les couches épitaxiées (couches de transition, isolantes ou semi-isolantes, et couche buffer de GaN) qui sont mises en jeu : plus elles sont épaisses, plus la tenue en tension est élevée. Latéralement, c'est la distance entre grille et drain qui, en première approximation, prime : plus cette distance est grande, plus la tenue en tension est élevée.

Améliorer la tenue en tension verticale est donc théoriquement possible par l'augmentation des épaisseurs des couches épitaxiées. Cependant, cette voie d'amélioration se heurte à deux écueils majeurs :

- i) plus les couches sont épaisses, plus le matériau GaN est susceptible de présenter des défauts, dislocations et pièges pouvant entraîner le claquage prématuré des composants voire la casse mécanique des plaquettes durant la fabrication. Ceci est d'autant plus critique que les composants d'Exagan seront fabriqués sur des substrats silicium 200 mm. De manière générale, la qualité actuelle des films de GaN déposés sur substrat de silicium ne permet pas encore d'atteindre la limite théorique en termes de tenue en tension.
- ii) Comme cela a été mentionné précédemment, le phénomène de résistance dynamique à l'état passant $R_{ON_dynamique}$ est d'autant plus marqué que la tenue en tension à l'état bloqué est

importante. Ce phénomène étant vraisemblablement lié à des pièges volumiques, la montée de la tenue en tension verticale devrait donc dégrader le $R_{ON_dynamique}$.

A priori, les voies d'amélioration de la tenue en tension verticale devront donc se faire en coordination avec la tâche 3 afin d'obtenir le meilleur compromis entre BV et $R_{ON_dynamique}$.

Latéralement, il est possible d'améliorer la tenue en tension en utilisant des plaques de champ en surface : cela peut être des plaques de champ de grille et/ou de source et/ou de drain avec un ou plusieurs niveaux de diélectrique. Une étude complète de l'influence des plaques de champ de grille, drain et source sur la tenue en tension des interrupteurs de puissance HEMT en GaN est indispensable car elle permettrait d'augmenter sensiblement la tenue en tension de ces interrupteurs sans trop « bouleverser » la structure verticale des composants qui, on l'a vu, peut être problématique à bien des égards.

Planification des tâches et sous-tâches

Nous envisageons un projet d'une durée totale de 24 mois avec une planification suivant le schéma proposé ci-dessous en supposant un démarrage au 1^{er} juillet 2015, c'est-à-dire au tout début du troisième trimestre (Q3 2015).

Temps	Q3 2015	Q4 2015	Q1 2016	Q2 2016	Q3 2016	Q4 2016	Q1 2017	Q2 2017
Tâche 1 : mise en place de la stratégie de simulation avec les outils SYNOPSIS SENTAURUS								
1.1. Simulation sur prototypes Exagan								
1.2. Étalonnage des outils de simulation								
Tâche 2 : conception d'interrupteurs GaN HEMT de puissance normally-OFF								
2.1. Étude de solutions existantes sur technologie Exagan								
2.2. Proposition de nouvelles architectures normally-off								
Tâche 3 : modélisation de la dégradation de la résistance à l'état passant en mode dynamique des GaN HEMT								
3.1. Compréhension des phénomènes mis en jeu								
3.2. Proposition de modèles (pièges ou autres) permettant de reproduire les comportements dynamiques expérimentaux								
3.3. Proposition de stratégies d'amélioration								
Tâche 4 : modélisation et simulation de la montée en tension des GaN HEMT								
4.1. Montée en tension : études paramétriques sur les dimensions latérales (plaques de champ)								

5. Présentation des partenaires

5.1. Présentation du LAAS

Le LAAS-CNRS, via l'équipe ISGE (« Intégration des Systèmes de Gestion de l'Énergie »), a une expérience de plus de vingt années en conception, fabrication, caractérisation et modélisation de

composants et systèmes de puissance intégrés. Les activités de recherche, menées en collaboration avec les laboratoires nationaux du domaine (LAPLACE, G2ELAB, AMPERE, IMS, SATIE, LGEP, INRETS,...) ont d'abord porté sur de nouvelles architectures de composants de puissance en technologie silicium (LUDMOS, FLIMOS, MOS à Superjonction à tranchées profondes, IGBT bidirectionnel, capteur de tension d'anode,...). Depuis 2005, les nouveaux défis de l'énergie ont motivé le choix d'effectuer **une rupture technologique vers les composants de puissance grand gap**, Diamant, SiC et GaN (5 projets ANR et 2 projets FUI ont été menés dans ce domaine).

Concernant les composants de puissance en GaN plus précisément, le LAAS-CNRS a été coordinateur de deux projets ANR : MoReGaN (programme « ANR blanc ») de 2007 à 2010 et ToPoGaN1 (programme « NanolInnov-RT ») de 2009 à 2011. Ces deux projets furent effectués en partenariat avec les principaux acteurs nationaux du domaine (Freescale, LETI, SOITEC, Thalès 3-5 Lab, CRHEA,...) où les objectifs majeurs consistaient à lever les verrous technologiques liés à la réalisation de composants MOS et HEMT de puissance en GaN. Dans le projet MoReGaN, des capacités MOS sur GaN de types N et P avec des densités de pièges à l'interface minimisées ont été obtenues alors que le projet ToPoGaN1 s'est concrétisé par la réalisation de HEMT de puissance **1000 V, 16 A** affichant des performances supérieures aux objectifs initialement fixés dans le projet (**600 V, 10 A**).

Plus récemment (octobre 2001 – octobre 2014), dans le cadre d'une thèse en cotutelle franco-libanaise (thèse de Monsieur Saleem HAMADY soutenue le 16 décembre 2014), le LAAS-CNRS et l'Université Libanaise ont proposé des nouvelles structures de HEMTs en GaN normally-OFF. Ces structures ont fait l'objet de deux demandes de brevets.

Enfin, dans le cadre d'une collaboration LAAS / CEATech Midi-Pyrénées, deux post-docs en cours (janvier 2014 – juin 2015) ont en charge l'invention de nouvelles structures GaN HEMT normally-OFF pour le premier (Gaëtan TOULON) et la création d'un banc de caractérisation pour l'étude de la commutation des GaN HEMT pour le second (Emmanuel MARCAULT).

Dans le projet présenté ici, le LAAS-CNRS mettra à la disposition de tous les personnels impliqués (personnels du LAAS et d'Exagan donc) :

- sa plateforme de conception (1 ingénieur support, 17 stations de travail), pour laquelle le LAAS a les licences relative aux logiciels indispensables à la conception des composants (SYNOPSYS SENTAURUS et CADENCE essentiellement),
- sa plateforme de caractérisation électrique, notamment le banc de caractérisation dédié à l'étude de la commutation des GaN HEMT récemment développé,
- des échanges de données sécurisées entre les sites du LAAS (Toulouse) et d'Exagan (Grenoble) grâce au support du service informatique *Sysadmin* du LAAS-CNRS,
- une infrastructure de travail adaptée et complète : bureaux, fournitures de bureaux, centre de documentation (abonné, comme précédemment mentionné, à toutes les revues scientifiques internationales majeures dans le domaine scientifique relevant du projet),...

5.2. Présentation d'Exagan

La société Exagan, créée en avril 2014, a pour objectif l'industrialisation et la vente de composants de puissance en GaN sur substrat silicium grand diamètre (200 mm) et donc bas coût. Cette technologie unique et industrielle, basée sur 10 années de développement au sein de la société SOITEC et du CEA-LETI, va accélérer l'adoption à grande échelle de ces nouveaux composants en GaN.

Les produits d'Exagan permettront de fabriquer des convertisseurs électriques de nouvelle génération ultra-performants : trois à dix fois plus compacts, 25% moins chers, avec des efficacités atteignant jusqu'à 99%. Les marchés visés sont ceux de la conversion électrique de haute performance : alimentations de puissance, moteurs industriels, panneaux photovoltaïques, véhicules hybrides / électriques moins émetteurs de CO₂, aéronautique, communication sans fil (radars, réseau de téléphonie mobile)...

La société se développera sur Grenoble (siège social, centre d'expertise semiconducteur et de fabrication de matériau GaN sur Silicium) et Toulouse (focalisé sur la partie produits et applications). Une levée de fonds en cours permettra, une fois finalisée, de lancer le développement opérationnel de la société au travers d'une part de recrutements d'experts du domaine pour industrialiser la technologie et d'autre part démarrer des partenariats de R&D clés pour la société. La collaboration avec le LAAS-CNRS s'inscrit dans cette logique.

Références

- [1] S.D. Burnham, K. Boutros, P. Hashimoto, C. Butler, D.W.S. Wong, M. Hu, M. Micovic, *Gate-recessed normally-off GaN-on- Si HEMT using a new O₂-BCl₃ digital etching technique*, Physica Status Solidi, Vol. 7, N° 7-8 doi:10.1002/pssc.200983644.
- [2] H. Chen, M. Wang, K.J. Chen, *Self-aligned Enhancement-mode AlGaIn/GaN HEMTs Using 25 keV Fluorine Ion Implantation*, Device Research Conference (DRC) 2010, Vol. 4, N°852, pp. 137–138.

- [3] X. Hu, G. Simin, J. Yang, M. Khan, R. Gaska, M. Shur, *Enhancement Mode AlGaIn/GaN HFET with Selectively Grown pn Junction Gate*, Electronics Letters 2000, Vol. 36, N°8, pp. 753-754.
- [4] Y. Ohmaki, M. Tanimoto, S. Akamatsu, T. Mukai, *Enhancement-Mode AlGaIn/AlN/GaN High Electron Mobility Transistor with Low On-State Resistance and High Breakdown Voltage*, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, N°44, pp. L1168–L1170.
- [5] T. Mizutani, M. Ito, S. Kishimoto, F. Nakamura, *AlGaIn/GaN HEMTs With Thin InGaIn Cap Layer for Normally Off Operation*, IEEE Electron Device Letters 2007, Vol. 28, N°7, pp. 549-551.
- [6] T. Morita, M. Yanagihara, H. Ishida, M. Hikita, K. Kaibara, H. Matsuo, Y. Uemoto, T. Ueda, T. Tanaka, D. Ueda, *650 V 3.1 mΩcm² GaN-based monolithic bidirectional switch using normally-off gate injection transistor*, IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), pp. 865 - 868, 2007.
- [7] H. Chonan et al. (2012), *Effect of hole injection in AlGaIn/GaN HEMT with GIT structure by numerical simulation*, Physica Status Solidi (C), 9(3-4), 847–850. doi : 10.1002/pssc.201100330.
- [8] H. Kambayashi, Y. Satoh, S. Ootomo, T. Kokawa, T. Nomura, S. Kato, T.P. Chow, *Over 100 A operation normally-off AlGaIn/GaN hybrid MOS-HFET on Si substrate with high-breakdown voltage*, Solid-State Electronics, Vol. 54, Issue 6, June 2010, pp. 660–664.
- [9] X. Huang, Z. Liu, Q. Li, F.C. Lee, *Evaluation and Application of 600V GaN HEMT in Cascode Structure*, APEC 2013, pp.1279 – 1286. doi : 10.1109/APEC.2013.6520464.

Durée projet = 24 mois

A-PERSONNEL	Coûts éligibles	
	Personne. mois	Projet
PERSONNEL PERMANENT	8	63 769,90 €
PERSONNEL NON PERMANENT financé par le projet	0	0,00 €
PERSONNEL NON PERMANENT non financé par le projet	0	0,00 €
STAGIAIRE	0	0,00 €
Total PERSONNEL coûts directs	8	63 769,90 €
Frais environnement	80%	51 015,92 €
Frais env. pers. Hébergé	80%	63 360,00 €
Total PERSONNEL		178 145,81 €

B-PLATEFORME	Total PLATEFORME	8 000,00 €
--------------	------------------	------------

C-EQUIPEMENTS et AUTRES	CONSOMMABLE et Petit EQUIPEMENT	0,00 €
	PRESTATION DE SERVICE	0,00 €
	MISSION/COLLOQUE/FORMATION	5 000,00 €
	DOCUMENTATION-EDITION	0,00 €
	EQUIPEMENT >= 800€	0,00 €
	Total EQUIPEMENTS et AUTRES	5 000,00 €

Total Coûts éligibles	191 145,81 €
-----------------------	--------------

Contribution partenaire	55 980,44 €	28,45%
-------------------------	-------------	--------

Coûts EXAGAN

A – PERSONNEL (coût toutes charges comprises)	120 000,00 €
B – EQUIPEMENTS ET AUTRES COUTS	
○ Coûts technologiques	10 000,00 €
○ Missions	10 000,00 €
○ Montant contrat de collaboration	55 980,44 €
COUT TOTAL	195 980.44 €