

# Validation d'un concept de connecteur multi-contact

—  
Rapport de séquence de fin d'études  
—



—  
**Théo LE PAIH**

Promotion 2018

Email : [theo.lepaih@radiall.com](mailto:theo.lepaih@radiall.com)

Tuteur industriel :

**Renaud ALEXANDRE**

Responsable de conception au sein de la BU multicontact

Email : [renaud.alexandre@radiall.com](mailto:renaud.alexandre@radiall.com)

Tuteur pédagogique :

**Christian DELAUNAY**

Référent apprentissage :

**Didier NADAUD**

**RADIALL SA**

39 Rue Velpeau

37110 Château-Renault

[02 47 29 84 84](tel:0247298484)

27 Aout 2018

## Table des matières

Présentation de l'entreprise.....	3
Contexte du SFE.....	5
Problématique.....	5
Objectifs du SFE.....	9
Démarche exploratoire .....	11
Changement de stratégie.....	11
Démarche d'innovation.....	13
Solution retenue.....	14
Démarche de validation .....	15
Validation des fonctions de base .....	15
Conception de détail .....	15
Sélection des FCS.....	16
Simulations.....	18
Grammage.....	18
Compatibilité électromagnétique .....	19
Essais .....	22
Résistance de contact.....	22
Câblage .....	22
Essai de compatibilité électromagnétique .....	24
Risque brevet.....	28
Synthèse des essais et poursuite du projet.....	30
Annexe 1 – Composition du contact Quadrax.....	32
Annexe 2 – Calendrier .....	33
Annexe 3 – Solutions K4 et H1 .....	34
Annexe 4 – Solution N2 .....	35
Annexe 5 – Isolant solution N2.....	36

## Présentation de l'entreprise

Dans un monde en perpétuelle évolution, l'électronique tient une place de plus en plus fondamentale. L'acheminement des informations et la qualité des transmissions pour des applications de plus en plus sophistiquées deviennent essentiels.

3

En 54 ans d'existence, Radiall a su se hisser au plus haut niveau opérationnel dans l'industrie de la connectique et fait maintenant partie des leaders mondiaux dans le domaine. Créée en 1963 par deux ingénieurs Yvon et Lucien Gattaz comme une PME familiale fabricant des connecteurs coaxiaux pour l'industrie de la télévision, Radiall est devenue, 5 ans après, une entreprise internationale avec la création de leur première filiale britannique. Ensuite, Radiall a continué à se diversifier et à se développer au niveau national et international pour devenir une entreprise réalisant un chiffre d'affaires supérieur à 300 M€, implantée sur 3 continents dans 14 pays et comptant plus de 3000 salariés.

Désormais présente sur les marchés de l'aéronautique, de la Défense, des télécommunications, de l'industrie, du spatial, de l'instrumentation et du médical, Radiall est une entreprise spécialisée dans la conception, le développement et la fabrication de solutions d'interconnexion, tels que des connecteurs radiofréquences coaxiaux, des composants hyperfréquences, des câbles et cordons hyperfréquences, des antennes, des connecteurs multicontacts, des produits spatiaux et des connecteurs de fibre optique.

Le principe de fonctionnement des composants d'interconnexions, quels qu'ils soient, est de transmettre un signal d'information ou de puissance avec le moins de pertes et le plus rapidement possible.

La plupart des connecteurs sont composés de contacts guidés à l'aide d'isolants intégrés dans des boîtiers. Lors de l'assemblage du boîtier mâle avec le boîtier femelle, les contacts entrent en connexion, ce qui permet la transmission du signal.

La figure 1 est une bonne illustration du processus d'assemblage et de fonctionnement d'un connecteur multicontacts.

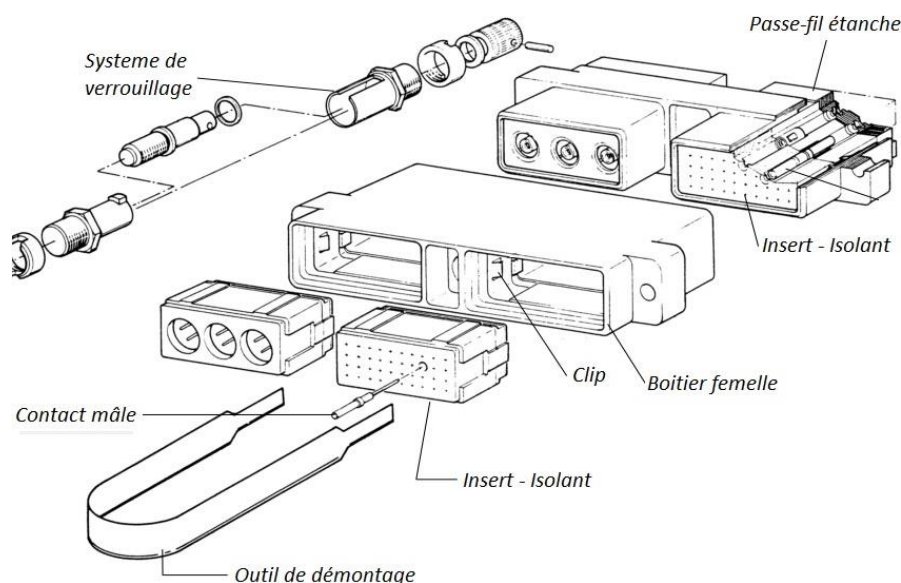


Figure 1 : vue éclatée d'un connecteur multicontacts

Le site de Château Renault est composé de deux « Business Units », deux unités d'affaires correspondant à des activités et des produits bien définis :

- La BU multicontact : unité d'affaire chargé de la conception, le développement et la production des connecteurs multicontacts.
- La BU Cordons/Câbles : unité d'affaire qui conçoit, développe et produit les cordons et les câbles coaxiaux destinés à l'aéronautique et l'aérospatial.

4

Le site de Château Renault (CHR) regroupe une partie de la production des deux BU : Radiall CHR dispose d'unités de production de câbles coaxiaux et de postes d'assemblage de connecteurs multicontacts. Le site a un effectif d'environ 300 personnes.

Les deux BU servent majoritairement le marché de l'aéronautique civile en tant que sous-traitant de rang 2 : les connecteurs multicontacts et câbles coaxiaux sont vendus séparément au câbleur ou à l'équipementier qui aura pour mission de les monter dans les sous-ensembles qui serviront à fabriquer l'avion.

Dans le cadre de mon apprentissage je suis affecté à la BU multicontact du site Radiall CHR en tant qu'apprenti ingénieur chargé d'études et de conception sous le tutorat de M. Renaud ALEXANDRE, ingénieur responsable de conception produits.

## Contexte du SFE

### Problématique

5

« L'usine du futur » ou encore « l'industrie 4.0 » sont des termes de plus en plus utilisés ces dernières années. Ils reflètent la remise en question et l'évolution de l'industrie occidentale au sens large pour rester compétitif face à des industries « low cost » issues de pays émergents. Cette évolution peut être lente pour les grands groupes industriels subissant un effet d'inertie. Radiall est le parfait compromis entre une production à taille humaine et une entreprise disposant des ressources nécessaires pour permettre ce type de changement. Le projet Radiall 2025 a pour but de faire évoluer l'entreprise vers les principes soutenus par « l'usine du futur ».

Un des points clés de la stratégie de Radiall pour rester compétitif dans une industrie de plus en plus concurrentielle repose sur l'innovation : la forte capacité d'autofinancement de Radiall (7% du CA investi dans la Recherche et Développement) et sa relative indépendance financière lui permettent de s'engager dans le développement de nouvelles solutions potentiellement innovantes malgré le risque financier encouru. Grâce à cette innovation Radiall espère augmenter ses deux types de compétitivité :

- La compétitivité hors-prix, en augmentant l'attractivité de ses produits via de nouvelles fonctionnalités issues de l'innovation ou de l'amélioration de la qualité des produits sans baisser le coût de revient ni le prix du produit.
- La compétitivité-prix, où la demande est satisfaite après une baisse du prix des produits obtenue soit par une diminution des marges soit par la baisse des coûts d'obtention. L'innovation intervient au niveau de l'optimisation des coûts d'obtention en agissant sur les procédés d'obtention ou sur les constituants du produit.

La stratégie de Radiall d'améliorer sa compétitivité via l'innovation s'est avérée payante et a donc été confirmée le 14 Janvier 2015, date à laquelle Radiall a reçu la distinction de « fournisseur de l'année 2014 » de la part d'Airbus Electric, la division équipements électroniques de l'avionneur.

Cette distinction récompense en effet le travail de Radiall dans l'innovation, elle fait suite au développement d'un nouveau connecteur multicontact, le connecteur QR, qui va remplacer une gamme de connecteurs d'ancienne génération. Il s'agit ici d'une augmentation de la compétitivité hors prix : le nouveau connecteur répond aux mêmes exigences techniques que l'ancien, il est légèrement moins cher mais son réel intérêt est qu'il nécessite beaucoup moins de temps lors de son installation sur l'avion avec un montage simplifié qui dispense également l'avionneur de nombreuses vérifications après montage. Le gain offert par le connecteur QR par rapport à l'ancien est alors évident pour Airbus ce qui permet à Radiall d'être désormais leader sur ce marché.

Radiall a dès lors la confirmation de la pertinence de sa stratégie d'innovation pour augmenter sa compétitivité hors-prix, mais est-il possible pour Radiall d'appliquer la même méthode afin d'augmenter sa compétitivité-prix ? L'entreprise peut-elle innover afin de réduire les coûts d'obtention de ses produits ? Ceci est une des problématiques de mon sujet d'étude actuel au sein du bureau d'études projets de la BU multicontact de Radiall CHR.

Mon projet d'étude de produit nouveau – dénommé projet Quadrax Low Cost – porte donc sur l'innovation pour la réduction des coûts d'obtention d'un produit spécifique : le contact Quadrax (voir figure 2 et annexe). La séquence de fin d'étude portera sur une partie seulement du projet Quadrax Low Cost dont l'ampleur dépasse de loin le cadre temporel de mon apprentissage.



Figure 2-Contact Quadrax mâle

Le contact Quadrax est un produit utilisé dans l'avion pour connecter les équipements de l'avion à un réseau de communication de type Ethernet, le contact assure donc la transmission d'un signal numérique entre l'équipement et un câble Quadrax ou assure la continuité du signal entre deux sections de câbles. Le contact est lui-même maintenu dans un boîtier – le connecteur multicontact NSX en figure 3 – qui lui sera directement relié au « châssis » de l'appareil.

Le contact Quadrax équipe une grande partie des avions commerciaux produits par Airbus et Boeing, notamment les avions A320 neo et A350 et les équipements associés. Airbus est notre client le plus important en nombre de contacts vendus et Radiall est leader en part de marché pour ce produit. Vu sous son aspect commercial, le contact Quadrax fait partie d'une offre plus large proposée au client : c'est le connecteur NSX (voir figure 3) complet et toutes ses variantes – incluant un grand nombre de configurations et de contacts autres que le contact Quadrax (contacts coaxiaux, de puissance...) – qui est à la base du contrat pour équiper l'avion. Dans la plupart des cas, le contact Quadrax ne représente qu'une partie de l'offre commerciale faite au client. Cependant l'augmentation constante des besoins en communication de type Ethernet dans l'aéronautique commerciale a pour conséquence l'augmentation de nombre de contact Quadrax par avion, notamment L'A350 qui est équipé de quelques centaines de Quadrax. En ajoutant à cela le prix relativement élevé de ce contact par rapport aux autres contacts de l'offre NSX (contact simple taille 22 par exemple), on constate que le Quadrax devient pour le client un poste de dépense de plus en plus visible.

7

Le contact Quadrax est donc sujet, comme les autres contacts de la gamme NSX, à des demandes de réduction des prix à chaque renégociation de contrat qui a lieu selon des cycles de quatre à cinq ans ou à chaque nouveau programme d'avion. En réaction ou par anticipation des attentes du client, le Quadrax Radiall a fait l'objet de nombreux programmes de réduction des coûts consistant notamment à changer de fournisseur ou de matériaux pour certains de ses composants. Certains de ces programmes ont permis des gains jusqu'à 15% du prix de revient du produit. Bien qu'ils soient félicités par des clients comme Airbus, qui est un moteur de ces programmes de réduction des coûts, ces efforts ne sont satisfaisants que jusqu'à la prochaine renégociation des contrats où les prix seront de nouveaux inspectés et remis en question.

Airbus étant un client stratégique pour Radiall il est absolument impératif de répondre à la demande client en proposant des solutions permettant une baisse des prix de ventes et impactant le moins possible la marge réalisée.



Figure 3-Boitiers NSX mâle et femelle (Contacts Quadrax visibles dans les cavités du milieu avec d'autres contacts en haut – contacts discrets taille 22 – et en bas)

8

Le contact Quadrax est décrit par plusieurs normes aéronautiques en plus des spécifications clients applicables au produit : les performances électriques et mécaniques plus une partie de la géométrie du contact sont normalisées. Les corps de contacts, les contacts centraux et la fêrûle sont aujourd'hui réalisés en décolletage qui est un procédé de tournage de petites pièces en laiton. Les contacts sont également protégés avec des couches de Nickel et d'Or pour empêcher l'oxydation du produit et ainsi conserver des résistances de contacts faibles permettant une bonne transmission du signal.

L'objectif de ce projet de réduction des coûts, comme les précédents et comme défini par le cahier des charges marketing établi en début de projet, est de trouver un concept moins couteux dégradant au minimum les fonctions et les performances du produit, ces dégradations devant être justifiées par un gain économique significatif.



## Objectifs du SFE

Le projet Quadrax Low Cost a débuté lors de mon arrivée à Radiall en novembre 2016. Lors du lancement du projet (premier jalon projet – J1) l'équipe a été définie et le cahier des charges commercial du projet a été établi, il s'agit de la cible à atteindre en termes de performances produits et de coûts de revient. L'équipe est actuellement composée d'un chef de projet, d'un responsable de conception (moi-même) et d'un acheteur projet. Mon rôle est de rechercher les solutions techniques, de développer des solutions et de les valider pour répondre au besoin du client et aux objectifs de réduction de coût)

L'objectif initial annoncé par le cahier des charges commercial est de réduire le coût d'obtention du Quadrax mâle et de du Quadrax femelle de 50%.

Ce premier Jalon au début de la phase de recherche de solutions technologiques économiques pour remplacer le procédé actuel d'obtention de la pièce. L'objectif est de pouvoir recenser tous les procédés existants potentiellement économiques afin d'avoir une vue d'ensemble de nos opportunités. Nous avons par exemple étudié les procédés de découpage formage (Outil dit à suivre ou progressif) et d'emboutissage profond et les gains potentiels qu'il nous offrent dans la fabrication des corps de contact et des contacts centraux, les inconvénients et les limites desdits procédés sont également quantifiés. Le but est de réaliser une matrice de choix nous permettant de calculer la meilleure option possible si elle existe.

La date de choix de concept, donc le jalon 2, a été fixé initialement en septembre 2017, date de début du SFE. La période faisant suite au J2 étant dédiée à la mise en œuvre de moyens de validation du concept : il faut s'assurer que la solution technologique envisagée est bien capable d'atteindre les performances cibles du cahier des charges notamment via des essais sur prototypes. Il s'agit également d'affiner la conception du produit pour se rapprocher un maximum d'un produit série. Ces informations nous servent alors à déterminer le plus précisément possible les coûts de production du futur produit série et à quantifier les investissements nécessaires au projet afin de bâtir un dossier d'investissement pour le jalon 3 qui correspond à date de lancement de la fabrication des outils série. C'est au jalon 3 que les plus gros investissements sont faits si le projet est estimé rentable et faisable.

En septembre 2017 et à la suite de la démarche exploratoire des solutions, il s'est avéré que les objectifs de réduction de coût n'avaient pas été atteint par les meilleurs concepts proposés ou les risques techniques associés ont été jugés trop importants. Il a été statué en réunion d'équipe que la phase de recherche de solutions technique serait prolongée jusqu'en décembre 2017. En décembre 2017 les nouvelles solutions techniques ont été présentées et une solution technique pour le contact Quadrax Femelle a été retenue pour la phase de validation.

Les missions définies initialement pour le SFE sont donc les suivantes :

- Etablir une co-conception avec un fournisseur : il s'agit de trouver un fournisseur maîtrisant le procédé d'obtention retenu (le découpage formage par ex.) pour la fabrication du Quadrax Low Cost et volontaire pour s'engager dans une co-conception et nous guider pour la phase de conception et de chiffrage du produit/process.
- Conception de détail du produit

- Identifier les caractéristiques clés à tester : lister les performances du produit à mesurer lors des tests des prototypes en fonction des risques liés à la technologie retenue et aux sanctions imposées par les normes ou le client.
- Conception des prototypes et de la grille d'essais : la conception d'un plan d'expérience.
- Analyse de risques liés au projet : c'est une composante essentielle du projet, il s'agit de quantifier les risques liés à une défaillance du nouveau produit ou à un arrêt du projet avant son terme.
- AMDEC produit et procédé : Déterminer les risques technologiques et les quantifier afin de s'assurer de la bonne maîtrise de la qualité produit dès le début du projet.

10

## Démarche exploratoire

### Changement de stratégie

11

À l'échéance de septembre 2017 plusieurs concepts de contacts Quadrax issus de la première phase de développement ont été présentés à l'équipe projet réunissant également la fonction commerciale. Les deux meilleurs concepts les critères de faisabilité technique (capacité à être produit), de risques produit (risques de non-respect du cahier des charges) et de gain de coût de production sont des concepts de corps de contact. Le corps de contact représentant environ 60% du coût de revient du Quadrax les efforts de développement de concepts étaient concentrés sur ce poste de dépense.

Les concepts de corps de contact nommés K4 pour le Quadrax femelle et H1 pour le Quadrax mâle sont présentés en annexe 3. Les gains de coûts de production estimés par un calcul ne tenant pas compte des amortissements des outillages et des frais de structure n'atteignent pas l'objectif fixé pour le corps de contact. De plus il a été établi par décomposition des coûts et suite aux consultations fournisseurs que le coût de revient du contact Quadrax mâle ne pourra pas être divisé par deux : une part importante du coût d'obtention est constitué du coût de dorure qui est difficilement compressible sur cette configuration. De plus il semble difficile d'obtenir une baisse importante du coût d'obtention des pièces brutes en changeant de technologie (passage sur découpage roulage par exemple) sans dégrader de manière importante les fonctions du produit. Les gains maximums estimés pour le contact mâle sont de l'ordre de 25%, loin des 50% de gains en objectif. La solution de corps de contact femelle K2 est intéressante car peu risquée sur le plan de la dégradation des fonctions, cependant elle est également peu intéressante sur le plan du gain économique.

À cette étape du projet comme tout au long de celui-ci il est très difficile d'évaluer les risques associés à un concept. En effet nous ne bénéficions pas d'un contact régulier avec le client principal, Airbus. Le projet Quadrax Low Cost fait partie d'une feuille de route générale établie par le client portant sur toute la gamme de produit NSX et hormis les points annuels qui lui sont réservés aucune discussion n'est prévue. De plus l'échéance de mars 2018 pour la rencontre client et la présentation de prototypes de Quadrax Low Cost est reportée indéfiniment en raison de la conclusion des négociations concernant l'offre NSX de Radiall pour Airbus. L'offre de Radiall incluant le Quadrax standard a été retenue, la proposition d'un concept Quadrax Low Cost à Airbus avant la fin du contrat ou avant une sollicitation client est donc inenvisageable pour le moment. Il est cependant nécessaire de continuer le développement du projet car il est certain qu'à l'échéance du contrat ou même avant Radiall sera sollicité pour réduire les prix du Quadrax. Il est à noter qu'Airbus achète deux fois plus de Quadrax femelle que de Quadrax mâle, la raison étant que les femelles sont du côté avion et les mâles du côté équipement. Le Quadrax femelle est environ 30% plus cher que le Quadrax mâle, ce qui fait du contact femelle un poste de dépense bien plus important pour Airbus que le contact mâle.

La stratégie que nous avons retenue est donc celle-ci : focaliser la recherche de solution technique sur le contact Quadrax femelle – plus intéressant en termes de gain absolu que le mâle. La solution que l'on vise doit permettre un remplacement le plus transparent possible du Quadrax actuel du point de vue du client : changement minimum des gammes d'assemblage (le contact livré en pièces détachées est assemblé par un sous-traitant d'Airbus suivant ses gammes de fabrications), un minimum de non conformités à la norme et un bon aspect général du produit (le produit doit paraître robuste au client, un ressenti négatif du produit par le client lors d'une manipulation peut être rédhibitoire également dans l'aéronautique).

12

Le calendrier initial de développement de projet est donc décalé, les prototypages ont débuté en janvier, et ce calendrier intègre désormais la phase de conception du Quadrax femelle. Nous conservons l'échéance de mars 2018 correspondant à l'obtention d'un démonstrateur physique le plus proche possible de sa version série et avec un maximum risques levés sur ses fonctions comme l'assemblage, le montage et ses performances électriques sur toute sa durée de vie.

C'est donc dans cette optique que j'ai développé la solution de contact Quadrax N2 dont je détaille le processus de mise au point dans la partie suivante.

## Démarche d'innovation

13

La solution de contact Quadrax femelle N2 qui sera retenue comme concept à approfondir et à valider est issue à la fois d'un changement de stratégie de développement du projet comme détaillé plus haut mais également d'un changement de méthode pour apporter des éléments de solutions innovants.

Jusqu'au développement des derniers concepts précédant la solution N2, la méthode de conception avait été de rechercher des procédés avec de faibles coûts de fabrication – dans le cas d'une production annuelle supérieure ou égale à 200 000 unités (correspondant à celle du Quadrax femelle) – et de convertir directement les composants tels que le corps de Quadrax ou les contacts centraux dans ces technologies en suivant les règles de conception associées à ces procédés. Il en résulte des concepts comme le K4 et H1 cités plus haut et qui sont des assemblages de pièces parfois de issues de procédés différents.

Ces concepts présentent un inconvénient majeur : les géométries et les fonctions requises sur les pièces (guidage des isolants, continuité électrique...) induisent une grande complexité sur les pièces par rapport aux capacités de productions qui sont externalisées (cas de l'emboutissage profond, du découpage roulage...). Ces technologies, bien qu'ayant un coût de production marginal faible et décroissant avec l'augmentation du volume de production, nécessitent des investissements importants ce qui rend la levée de risques techniques coûteuse et augmente considérablement les risques projets. Dans ces conditions la continuation du projet dépend lourdement de l'expertise technique et l'expérience que peut nous apporter un fournisseur sur nos concepts. Ces conditions idéales de co-développement avec un fournisseur disponible pour nous assister dans notre développement de produit sans avoir la garantie de l'aboutissement du projet n'existent pas, du moins pas sans une solution crédible dans laquelle nous avons un minimum confiance.

L'enjeu ici est donc de trouver une solution facilement prototypable sans investissements dans des outils coûteux et intégrant des solutions techniques externalisées les plus faciles à développer, rentrant le plus possible dans le champ de compétences des fournisseurs. Il faut une solution technique crédible pour le fournisseur comme pour Radiall.

De ces conclusions je déduis donc des règles de conception à appliquer sur le Quadrax femelle :

- Fusionner l'isolant avant dans le sous ensemble corps de contact
  - On peut intégrer l'isolant avant dans le corps à condition de modifier la gamme d'assemblage client : changement possible à condition de simplifier l'opération
- Transférer au maximum les fonctions « géométriques » du corps de contact dans l'isolant :
  - L'isolant est une pièce injectée, il est plus facile et moins coûteux d'obtenir des formes complexes sur une pièce injectée que sur une pièce emboutie ou issue de découpe
  - Radiall possède la compétence en injection : nous avons les outils de production, les moyens de mise au point de moule et l'expertise technique dans ce domaine. Il serait donc possible de conserver la valeur ajoutée en interne.

## Solution retenue

La solution N2 (voir annexe 4 et 5) est une synthèse des solutions étudiées avant elle, elle intègre les technologies d'emboutissage profond pour la partie arrière (comprenant la zone de sertissage), de découpage roulage pour le contact de masse (pétales à l'avant accueillant la partie active mâle). Ces deux technologies sont les meilleures sur le plan de réduction de coûts, l'emboutissage profond permet d'obtenir un fût de sertissage similaire au fût de sertissage existant (géométrie fidèle et même ordre de grandeur des caractéristiques mécaniques du matériau avant mise en forme). Le découpage-roulage du clip de masse permet, via le traitement de surface sélectif en bande, de diminuer la quantité d'or déposée sur la pièce.

Les contacts centraux sont conservés dans leur technologie d'origine, le décolletage. Il semble, à l'heure actuelle, que ce soit la seule technologie adaptée pour obtenir ces pièces. L'autre option serait le découpage roulage, mais cette technologie impose de changer la méthode de sertissage des contacts centraux (normalisée). Cette option semble techniquement faisable – elle est appliquée dans le secteur automobile – et est très intéressante en termes de réduction des coûts. Développer cette solution n'est cependant possible qu'en étroite collaboration avec le client, ce qui n'est pas envisageable pour l'instant. Un concept purement budgétaire, sans étude de faisabilité, peut cependant être développée pour être proposée en parallèle de la solution N2, plus réaliste et ayant subi une levée de risque.

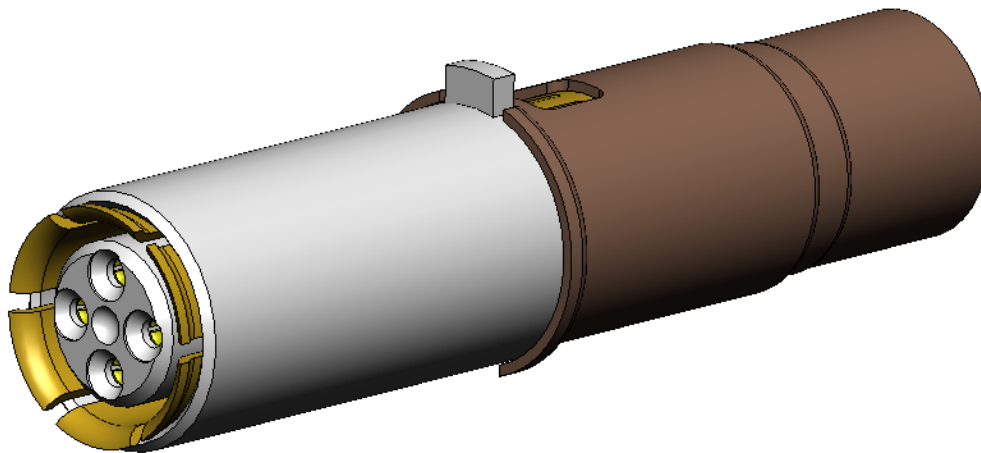


Figure 4 - Concept de contact Quadrax femelle N2

Suite à une analyse des coûts basés sur les devis des fournisseurs et de leurs estimations budgétaires, on observe que le gain par rapport au contact standard est de l'ordre de 40%. Ce nombre est inférieur aux -50% initiaux mais il a été jugé suffisant pour que la solution soit retenue. En effet, à moins de dégrader les fonctions du produit, il semble que cette solution est proche d'un optimum en termes de réduction des coûts. C'est donc la solution N2 est retenue pour la phase de validation de concept.

## Démarche de validation

### Validation des fonctions de base

15

La phase de validation de concept est entamée en janvier 2018 avec le lancement des premiers prototypes. Ceux-ci permettront de valider les fonctions de base du produit tel que l'assemblage, le montage et le fonctionnement dans le connecteur. Il s'agit d'une étape clé dans le développement du projet puisqu'elle est susceptible de remettre en cause le concept N2 et de nous obliger soit à revenir en phase de recherche de solution, soit à mettre un terme au développement du projet.

Les premiers essais débuteront en semaine 7 et permettront de juger des performances à l'assemblage et au montage du concept. Il est très probable que les prototypes fassent l'objet de boucles de prototypages afin d'affiner la conception, en particuliers sur la fonction assemblage qui est identifiée comme critique. Cette conception se fera en collaboration avec les services d'industrialisation et de plasturgie de Radiall. Les prototypes sont actuellement produits en fabrication additive pour les pièces en plastique et en décolletage pour les pièces métalliques, les procédés de prototypages fidèles à ceux choisis pour le concept étant trop onéreux pour une première phase de prototypage. Les prototypes ne sont donc que partiellement représentatifs du produit final, notamment au niveau des caractéristiques des matériaux. Pour valider les fonctions comme l'élasticité des pétales ou le sertissage du fût, il sera nécessaire de trouver des moyens évitant le recours à la fabrication d'outils d'emboutissage et de découpage pour prototyper les pièces. C'est une action importante de mon plan de validation de concept puisque ces fonctions, intimement liées au mode d'obtention de la pièce, sont critiques. Il faudra prouver que les niveaux de performance sur ces fonctions peuvent être atteints avec ce concept sans avoir un unique prototype 100% représentatif du concept.

Mon objectif pour la seconde moitié du SFE est de mettre en place un plan permettant de valider un maximum de fonctions avant l'échéance d'août 2018.

### Conception de détail

Le concept est actuellement dessiné et chiffré de manière relativement approximative, les prix de certains composants sont des estimations et la cotation des pièces n'est pas représentative du produit final. La conception de détail permettra d'affiner les chiffrages des pièces et des investissements associés, en collaboration avec les fournisseurs retenus pour cette affaire. La conception de détail, qui inclura toutes les modifications et mises à jour faites pendant la validation du concept permettra de faire le lien entre les prototypes et la fabrication en série. Il faudra tenir compte des capacités de production des fournisseurs et des nôtres afin d'aboutir à un dessin de définition abouti. Cette phase débutera à la suite des premières étapes de la validation du concept avec la cotation précise et justifiée des pièces.

Mon objectif pour la fin du SFE est de produire les dessins de définitions des pièces avec leurs justifications de conception associées, s'est à dire les chaînes de côtes et l'AMDEC produit.

## Sélection des FCS

Afin de mener à bien la validation du concept il est nécessaire de trier les fonctions de l'analyse fonctionnelle en fonction de leur criticité. Le but est d'obtenir la liste des fonctions du produit à vérifier en priorité. Les fonctions de l'analyse fonctionnelle du produit sont passées en revue et notées suivant les critères d'importance et de maîtrise de la fonction suivant le tableau de notation ci-dessous. La revue des fonctions du nouveau Quadrax est réalisée avec l'aide de concepteurs expérimentés ayant une connaissance du produit Quadrax et auxquels le concept de nouveau contact a été présenté en détail.

16

		IMPORTANCE	NIVEAU DE MAITRISE
NOTE	1	<b>Performance du système conservée</b> ; l'utilisateur peut continuer à utiliser son système Il n'y aura pas d'intervention si la défaillance intervient.	<b>Reprise d'éléments éprouvés en série</b> : durée de vie de l'ensemble de la population des systèmes.
	2	<b>Mode dégradé</b> - Dégradation des performances, apparition de symptômes inquiétants, gêne importante l'utilisateur peut continuer à utiliser son système, mais une intervention s'impose rapidement.	<b>Reprise de concepts éprouvés</b> dont les quelques défaillances n'engendrent pas de pénalisation du marché. Il est possible que quelques systèmes défaillent au cours de leur durée de vie impactant la rentabilité du produit
	3	L'événement redouté conduit à un arrêt total du système nécessitant une intervention pour le rendre à nouveau utilisable (notion de « <b>panne sans conséquence grave</b> »)	<b>Fortes modifications de concepts connus</b> ; Il est possible qu'une part non négligeable de systèmes présentent une défaillance au cours de sa vie
	4	L'événement redouté est susceptible d'entraîner des risques de morts ou de <b>dommages corporels pour l'homme</b> (utilisateurs, occupants, ...)	<b>Conception innovante</b> . Il est possible qu'une majorité de systèmes présentent des défaillances au cours de leur vie engendrant un problème d'image de marque du produit voire de l'entreprise

Figure 4 - Notation des fonctions du produit

Une fois les fonctions évaluées et notées, on sélectionne celles dont le produit importance x maîtrise est supérieur ou égale à 12 dans la liste des fonctions critiques (FCS pour Fonction Criticality Sorting).

<b>Fonction évaluée</b>	Note de maîtrise de la fonction	Note d'importance	Note totale = maîtrise x gravité Si $\geq 12$ alors FCS
-------------------------	---------------------------------	-------------------	---

Figure 5 - Calcul du niveau FCS



Une partie des fonctions critiques est présentée dans le tableau de synthèse ci-dessous qui regroupe les quatre fonctions les plus critiques.

Fonctions critiques	Moyens de validation	Risques
FP1 Continuité du signal	Mesure EMI – Résistances de contact (RC) Simulation électromagnétique	Risque important de compatibilité électromagnétique identifié
Ne pas être contrefacteur d'un brevet	Bibliographie Brevet	Risque important PI identifié
Résister aux conditions extérieures	Essai de brouillard salin – cycles de températures, Vibrations	Risques identifiés, performances dépendantes de la version
Pouvoir être câblé-assemblé	Essais câblage et avec opérateurs	Risque important identifié

Tableau 1 - Tableau de synthèse des FCS

Il s'agit désormais d'utiliser les moyens disponibles tels que la simulation et les essais sur prototypes pour vérifier que le concept est capable de satisfaire le niveau d'exigence de ces fonctions.

## Simulations

### Grammage

18

Parmi les caractéristiques du produit que l'on peut simuler de manière fiable se trouve le grammage de la partie active du contact femelle, c'est-à-dire les efforts nécessaires à l'insertion et à l'extraction du contact mâle dans le contact femelle. Il s'agit d'un niveau de performance d'une fonction contrainte non présente dans les FCS. En effet il ne s'agit pas ici de vérifier le niveau de maîtrise d'une fonction mais bien de dimensionner la pièce découpée roulée qui compose la partie active du contact. En effet nous estimons que la maîtrise du grammage est réalisable par des technologies de découpe utilisées notamment dans d'autres produits Radiall.

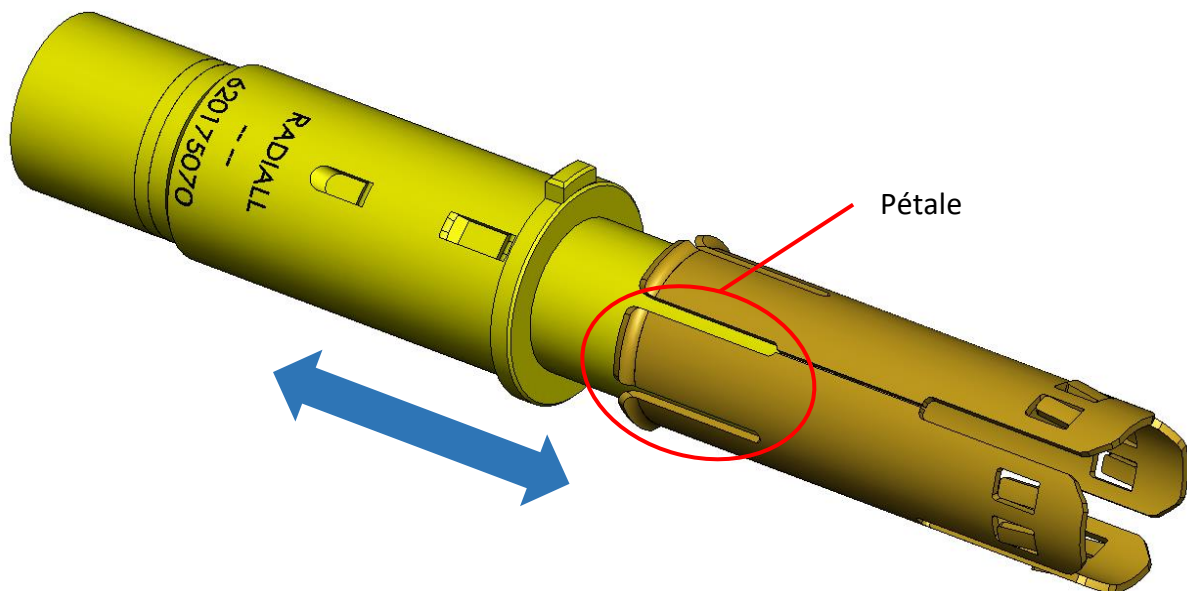


Figure 6 - Contact mâle standard dans la partie active découpée roulée

Le dimensionnement des pétales (largeur, longueur, épaisseur, nombre) est confié à un expert simulation qui utilisera des outils de calculs analytique et statistique pour déterminer la conformité de la pièce aux exigences de la norme. La méthode utilisée est un calcul d'optimisation en ayant comme variable d'ajustement les cotes nominales de largeur et de longueur des pétales, comme objectif une distribution du grammage avec un taux hors des spécifications inférieur à 32 ppm. Le modèle est celui de la mécanique linéaire des poutres et du frottement de Coulomb. Le résultat du calcul d'optimisation est représenté dans le graphique ci-dessous où l'on voit les distributions des efforts de grammage calculées grâce à la méthode de Monte-Carlo.

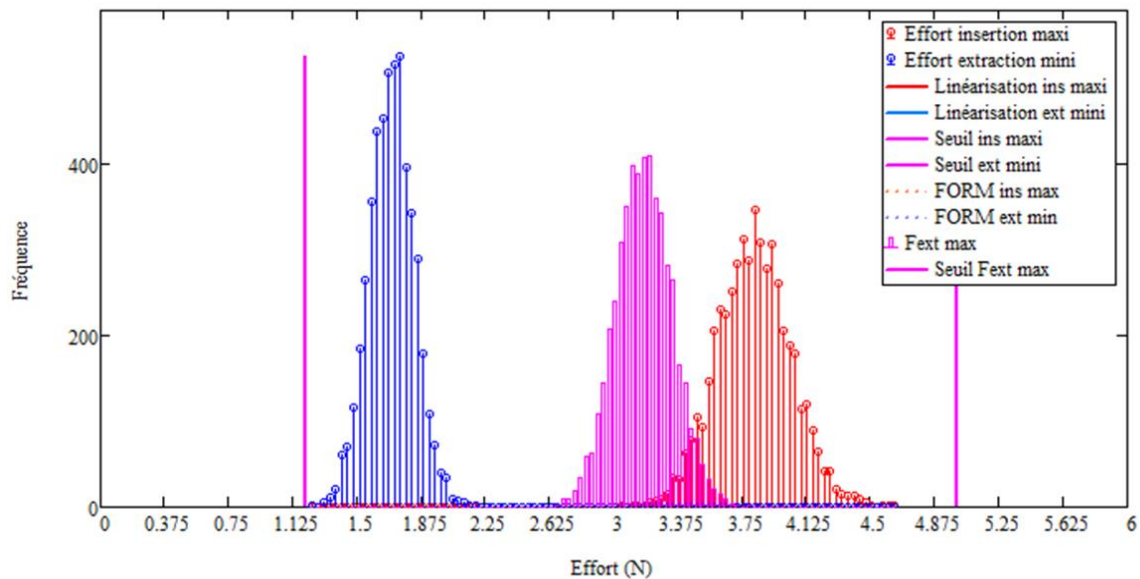


Figure 7 - Distribution des efforts d'insertion et d'extraction de contact

## Compatibilité électromagnétique

La partie active du contact femelle est maintenant déterminé au point de vue mécanique. La prochaine fonction critique à analyser via les outils de simulation est l'efficacité de blindage électromagnétique (ou CEM pour Compatibilité ElectroMagnétique) du composant, c'est-à-dire sa capacité à filtrer les rayonnements émis ou reçus avec l'environnement extérieur. Il s'agit d'une fonction critique pour deux raisons, la première étant qu'en cas de mauvaise efficacité de blindage serait grave et nuirait non seulement à la transmission du signal par le contact Quadrax mais viendrait également perturber les autres signaux transmis par le boîtier NSX. La deuxième raison est que le nouveau concept de Quadrax et son corps en plusieurs parties introduit un élément nouveaux : des « porosités » du blindage entre les pétales et le fût de sertissage pourraient sérieusement contrevenir à la performance de CEM du composant. Autrement dit il s'agit d'une fonction dont les notes d'importance et de maîtrise sont maximales.

Afin d'estimer la performance de CEM du contact nous pouvons utiliser un outil de simulation numérique des phénomènes électromagnétiques. L'outil et les experts l'utilisant sont situés sur le site de Radiall à Voreppe de même que les instruments de mesure des caractéristiques CEM des produits Radiall. De nombreux échanges et de boucles de simulation ont été nécessaires pour obtenir une simulation pouvant être estimée fiable, notamment afin de modéliser le connecteur correctement pour la simulation. De plus il s'agit ici d'une mesure comparative entre la version standard du Quadrax et différentes versions du nouveau contact.

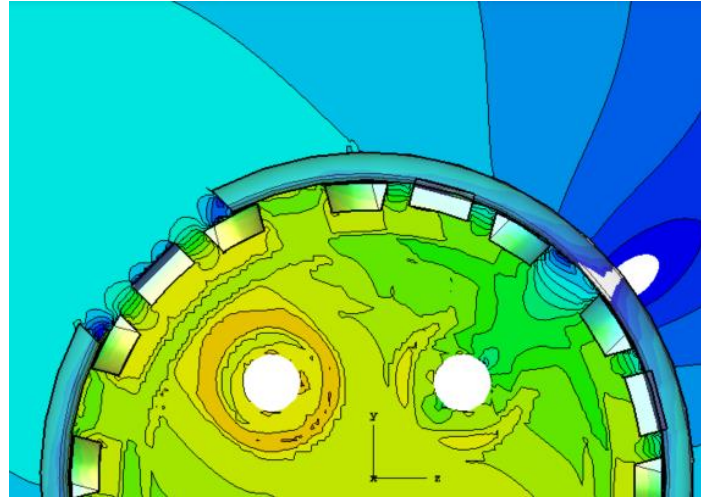


Figure 8 - Visualisation graphique du champ EM simulé

L'efficacité de blindage EM est mesurée en impédance de transfert (Ohm) comme défini par les documents normatifs.

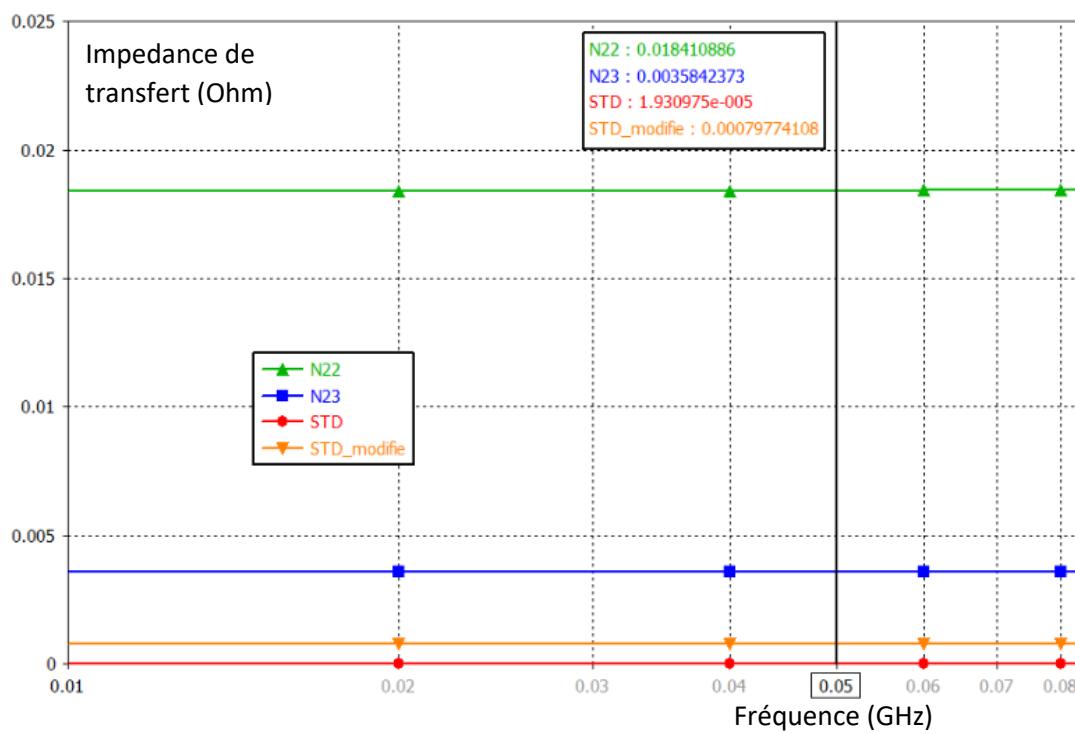


Figure 9 - Niveaux de CEM calculée pour différentes versions du contact

Après les différentes phases de simulation on observe que la taille des orifices entre les composants métalliques du corps de contact a un impact significatif sur la performance du produit. Il semble en effet préférable de limiter la taille des ouvertures dans le blindage afin de limiter les fuites de rayonnement.

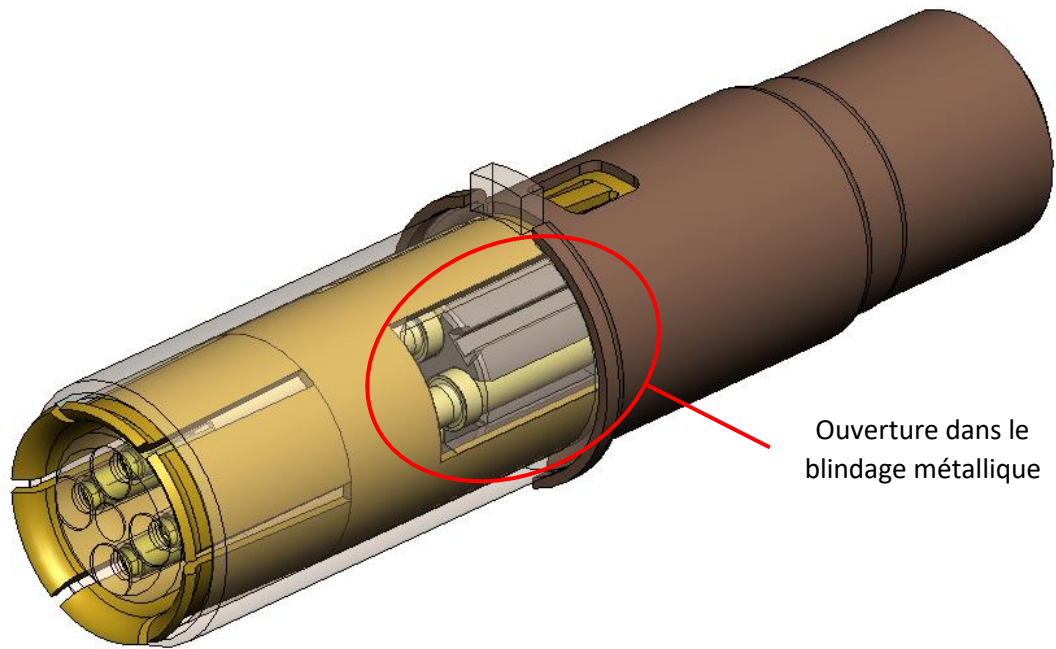


Figure 10 - Illustration des ouvertures présentes dans le blindage du corps

Le design du contact de masse est alors modifié de façon à optimiser la compatibilité électromagnétique du produit, la modification est visible sur la figure suivante.

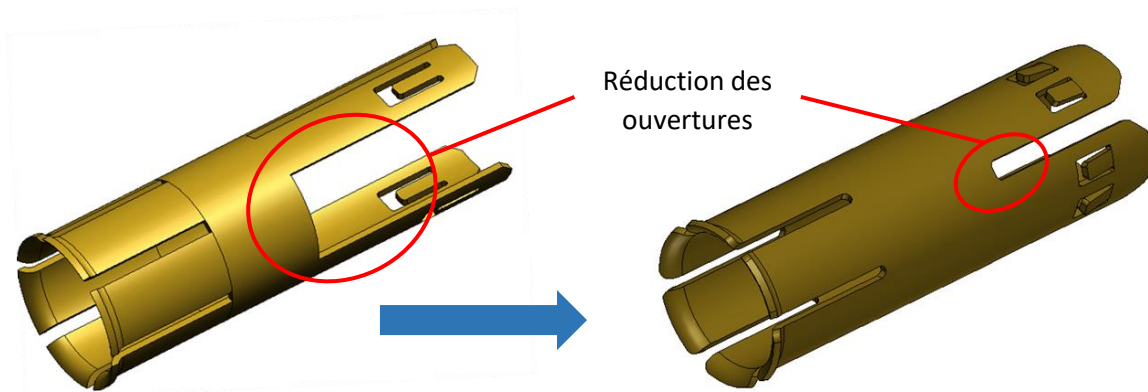


Figure 11 - Changement de conception de la partie active du contact

Il est important de noter que la simulation ne nous indique pas une performance quantifiée de la CEM du contact, elle nous sert à comparer des choix de conception dont les effets sont intuités avant simulation. En effet, non seulement de nombreuses hypothèses sont posées pour simplifier le calcul mais aussi le faible historique à Radiall en matière de simulation de CEM rend délicat pour les experts l'appréhension du sujet. Il sera donc nécessaire de réaliser un essai réel de CEM sur un prototype de contact.

## Essais

### Résistance de contact

22

Le premier essai réalisé systématiquement sur chaque prototype fonctionnel de contact Quadrax est la mesure de résistance de contact en différents points du corps de contact. Il s'agit en effet d'un des niveaux de performance fondamentaux permettant la transmission du signal et par là même d'obtenir une bonne CEM. Le point critique est la modification de la résistance en environnement agressifs, notamment en essai de brouillard salin où le sel catalyse l'oxydation du cuivre et peut faire apparaître du vert de gris non conducteur.

Des essais de brouillard salin (BS) sont menés sur des prototypes de contact K4 afin de comprendre le comportement de la résistance de contact (RC) entre deux pièces dorées, ici les pétales et le fût de sertissage. L'image suivante montre une mesure de RC entre le fût et la tresse du câble.



Figure 12 - Mesure de résistance entre fût et tresse d'un prototype K4

Pour le concept N2 la situation est légèrement différente, en effet il apparait, par comparaison à d'autres produits, que le procédé de fabrication de la pièce a une importance sur son comportement en brouillard salin. Bien que cette fonction nous semble maîtrisable il sera nécessaire de réaliser des essais de RC en environnement sévère dans la phase ultérieure de projet et en utilisant des prototypes découpés roulés.

### Câblage

Une étape essentielle du processus de validation est l'essai de câblage qui consiste en l'assemblage du corps de contact (sous ensemble réalisé par Radiall) avec les contacts centraux sertis sur leur câble Quadrax. C'est une opération qui sera réalisée par le client et qui doit donc être

réalisable dans les mêmes conditions que celles du Quadrax actuel, c'est-à-dire avec une difficulté et un temps équivalent.

L'opération de câblage consiste à sertir quatre contacts centraux (CC) sur les quatre conducteurs dénudés du câble Quadrax et ensuite de les monter dans les alvéoles de l'entretoise. Cet ensemble contacts centraux et entretoise est ensuite inséré dans le Corps de contact pré assemblé comme présenté dans l'illustration suivante.

23

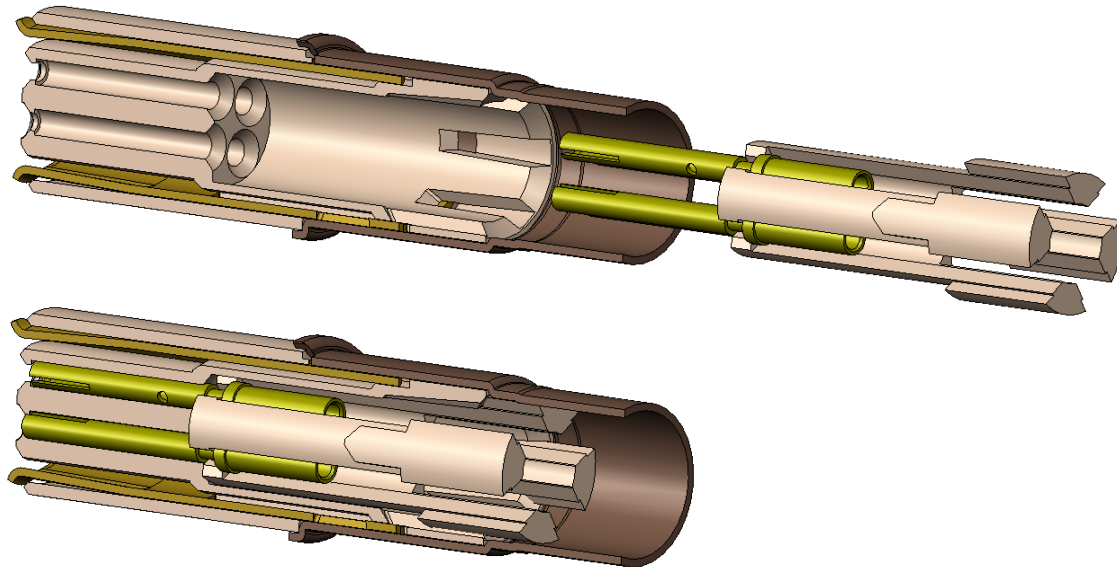


Figure 13 - Assemblage des CC + entretoise dans le corps de contact

La difficulté est de pouvoir insérer les contacts à l'aveugle dans toute la longueur du contact à la différence du contact standard où les contacts centraux sont coiffés par l'isolant avant leur insertion dans le corps. La difficulté est de pouvoir centrer l'avant des contacts dans leur logement sans emplafonner une surface plane. Initialement l'entretoise du nouveau contact était basée sur sa version standard, soit une pièce en thermoplastique « souple » avec des butées permettant un clipsage flottant des CC dans leur logement sur l'entretoise. La première version de l'entretoise N2 reprend le même système de clipsage mais cette fois avec un montage serré, c'est-à-dire un jeu négatif permettant un maintien en position des contacts centraux par une pression maintenue sur l'arrière du contact. Des essais de câblage sont menés avec des opératrices Radiall de manière à recueillir un avis objectif sur la nouvelle gamme de montage. Le retour négatif de l'essai nous amène à reconcevoir le système de maintien des contacts centraux. Une analyse des Quadrax concurrents nous amène à tester le contact de l'entreprise Souriau dont l'entretoise est en thermoplastique rigide et présente des butées axiales. L'isolant avant présente des chanfreins à l'entrée des alvéoles des CC. Le produit est testé et s'avère bien meilleur que le concept initial. Le changement de conception est visible sur l'illustration ci-dessous.

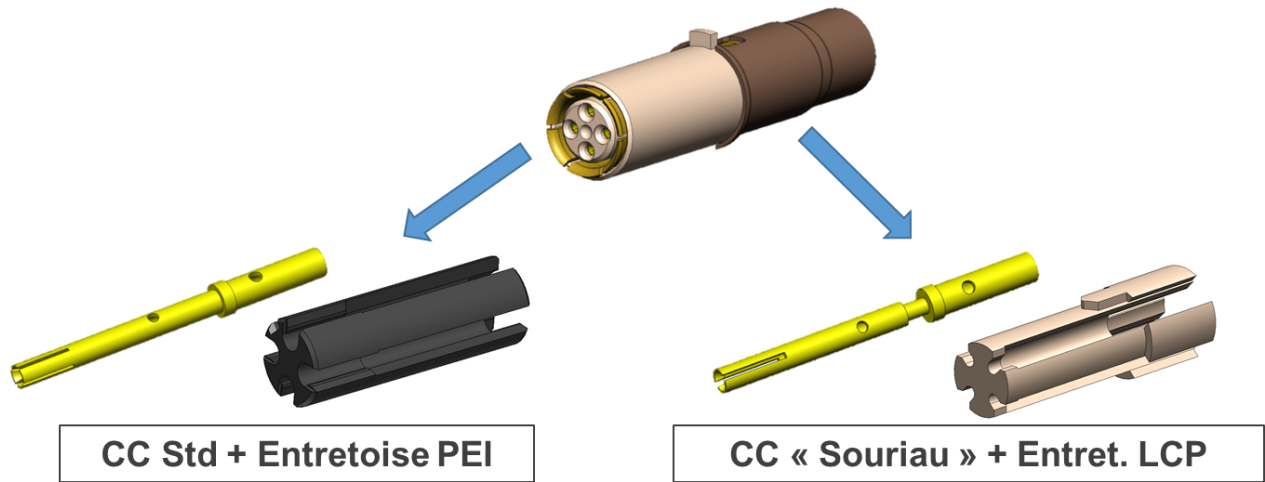


Figure 14 - Changement de la conception de l'entretoise et contacts centraux

La version Souriau est celle retenue aujourd'hui bien qu'elle ne soit pas entièrement satisfaisante en l'état. En effet dans le cas où les conducteurs centraux présenteraient une trop grande différence de longueur (aux extrêmes des cotes de coupe des câbles) le parallélisme des CC n'est plus garanti et l'insertion de l'entretoise dans le corps devient impossible. Néanmoins le concept peut être amélioré avec une longueur de guidage plus importante pour palier à ce problème. Cette amélioration sera évaluée sur une prochaine phase de prototypage.

#### Essai de compatibilité électromagnétique

L'essai le plus critique pour le concept N2 est celui de la compatibilité électromagnétique car en cas d'échec peu de solutions nous sont disponibles pour augmenter la performance de CEM. Les orifices ont été réduits au maximum et le nombre de patte de masse assurant une faible résistance de contact entre le fut et la partie active (les pétales) est au nombre de huit, nombre difficile à augmenter compte tenu de la surface et de la taille de la pièce. L'essai est conduit au Laboratoire Centrale d'Essai à Radiall Voreppe sur un banc d'essai COMET (COaxial MEasuring Tube) et avec des prototypes usinés et imprimés en 3D pour les pièces en plastique. Le montage est visible sur les deux images suivantes.



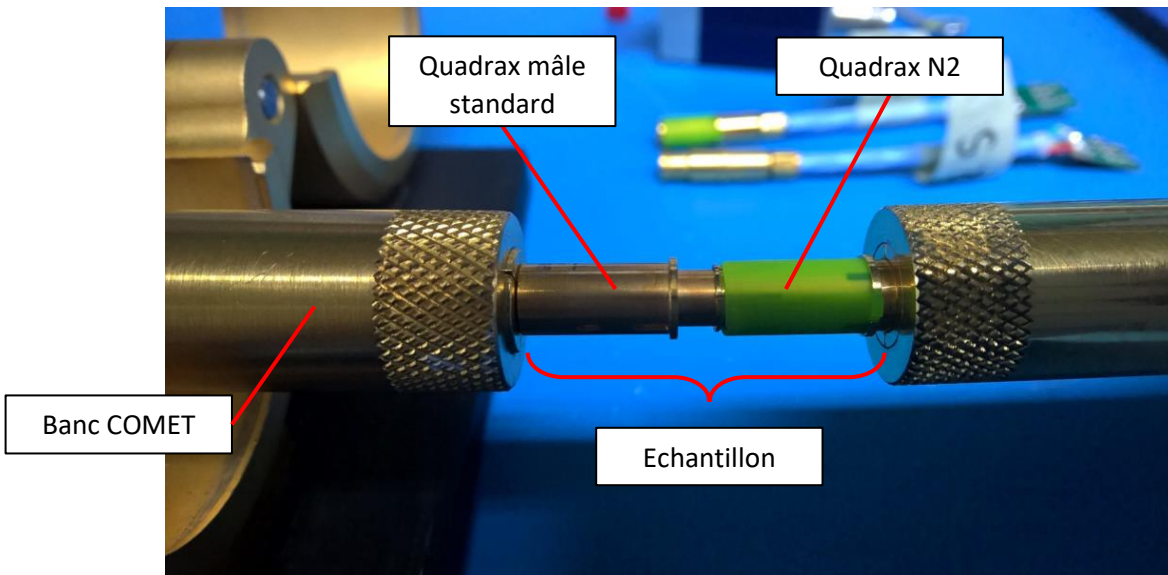


Figure 15 - Montage du couple Quadrax sur le banc COMET

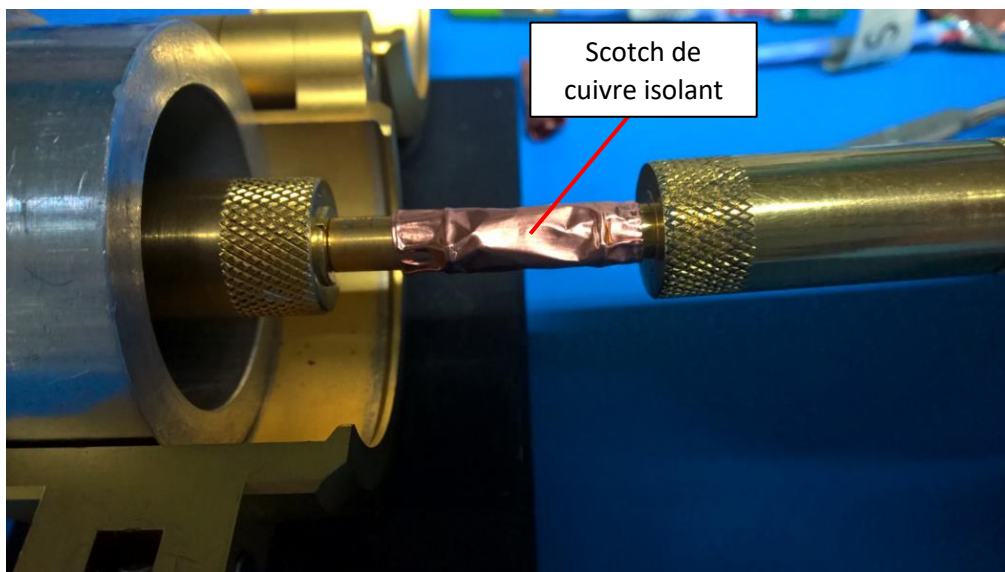


Figure 156 - Calibration du banc avec un échantillon couvert d'isolant EM

Pour que le niveau de CEM soit considéré bon il faut qu'il rentre dans l'enveloppe définie par les normes internationales (ARINC 600) ou au moins dans celle de la spécification client (ABS pour Airbus). Le graphique ci-dessous représente trois courbes : les deux enveloppes de sanction et la courbe issue de la première qualification de 2001 du Quadrax standard en bleu (nommée Zt).

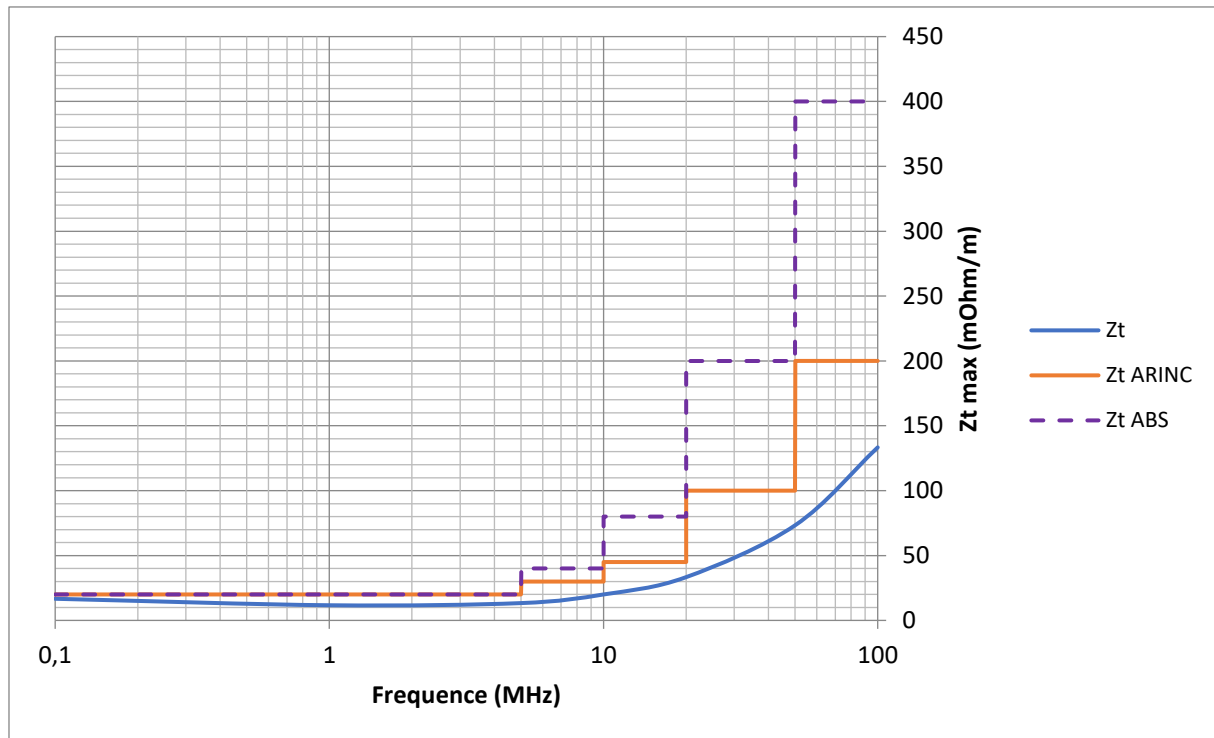


Figure 16 - Mesure, Norme et spécification de la CEM Quadrax standard

On observe que les sanctions collent étonnamment bien à la courbe mesurée, il ne s'agit pas d'un heureux hasard : le contact Quadrax a d'abord été défini sur le plan géométrique avec comme objectif de ne laisser qu'un minimum d'ouvertures, la mesure de la CEM a été réalisée à posteriori et intégré au cahier des charges/norme après la conception du produit. Le couple de contact standard est ainsi approximable par un cylindre entièrement fermé et procure à priori un blindage idéal.

Les résultats de la mesure sur le Quadrax standard et sur le prototype N2 sont visibles sur le graphique suivant :

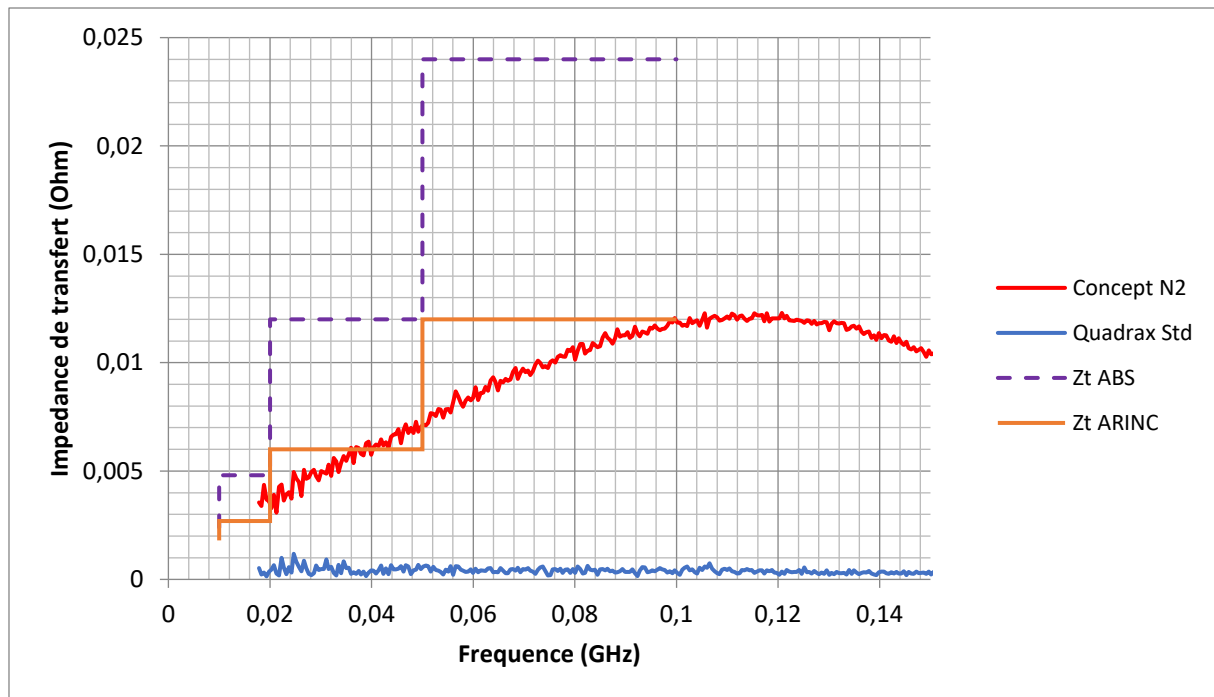


Figure 17 - Courbes des essais CEM

Il faut noter que la méthode de mesure de l'essai réalisé pour ce projet est différente de celle utilisée pour la qualification du contact en 2001. En effet l'essai de qualification a été sous-traité et nous possédons que peu d'information sur celui-ci sinon qu'il utilise une norme méthode différente.

Des résultats de l'essai il apparaît que le Quadrax standard a une performance largement supérieure que celle estimée en 2001. De plus le prototype de concept N2 semble avoir une performance largement dégradée par rapport au standard même s'il est proche voir inférieur aux sanctions.

Il est très difficile de conclure à la suite de cet essai. Même si il semble valide du point de vue des experts en CEM, il est très éloigné de la mesure réalisée en 2001 et par là même des normes qui en sont issues. L'exactitude de la mesure de 2001 est remise en question par cet essai effectué en conformité avec les normes les plus récentes, les normes sont donc peut être basées sur une mesure inexacte. Il est cependant établi que le concept N2 présente une CEM largement dégradé, mais peut-il être considéré comme conforme ?

Pour pouvoir conclure sur les performances du produit il est indispensable de conduire une file d'essai pour valider cette première mesure et d'engager une discussion avec le client pour connaître son vrai besoin en matière de compatibilité électromagnétique.

## Risque brevet

Du fait de l'utilisation d'une conception concurrente pour réaliser la clavette un risque de propriété intellectuelle a été identifié. Une recherche bibliographique des brevets basée sur des mots clefs a été effectué et une liste de brevet a été compilé. À la suite de l'analyse détaillée de ces brevets il en ressort un dont la description et les revendications pourraient bloquer le concept N2 et notamment l'indexation entre l'entretoise et le corps/isolant réalisée grâce à une clavette sur l'entretoise. Le fonctionnement du concept N2 est détaillé dans l'illustration suivante :

28

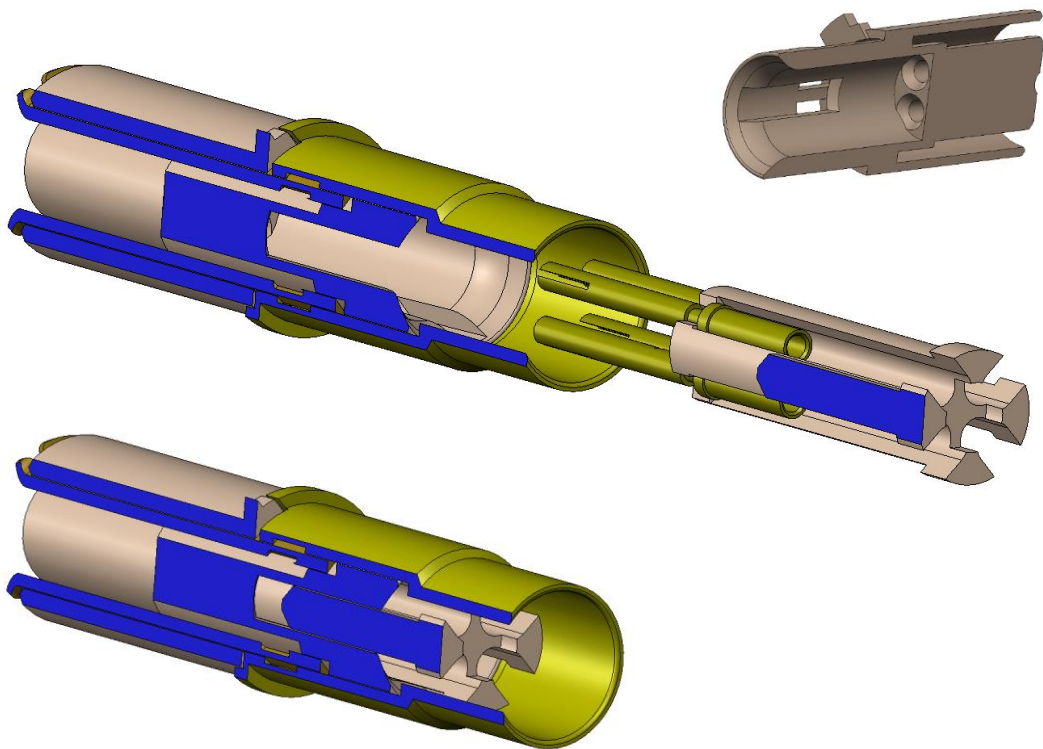


Figure 18 - Illustration de la clavette sur l'entretoise

Le brevet en question est détenu par le concurrent Tyco Electronics (TE), sa description présente notamment l'illustration ci-dessous :

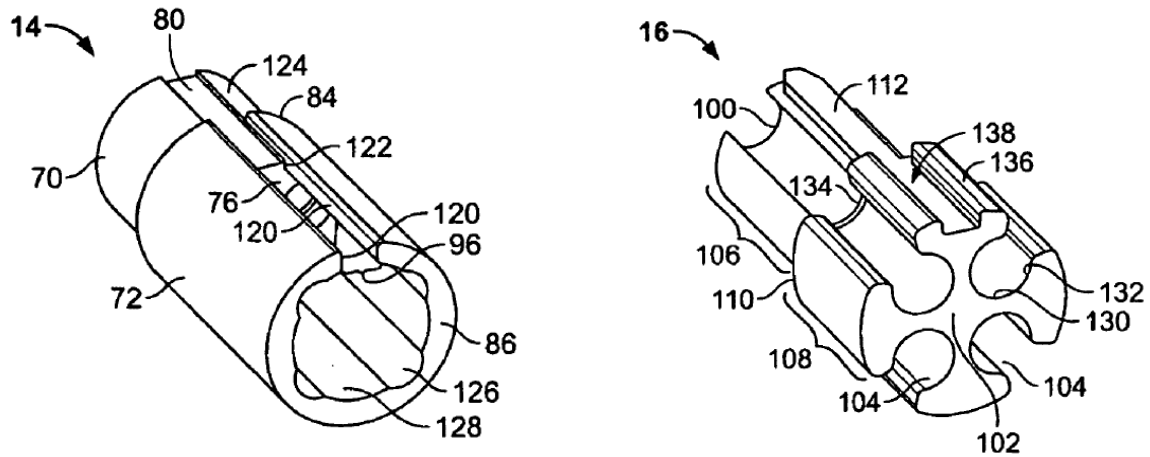


Figure 19 - Illustration du brevet TE

La revendication TE porte sur un Quadrax dont l'isolant arrière/entretoise (16) est indexé sur l'isolant avant (14) grâce à une clavette (112) présente sur l'isolant arrière/entretoise et une rainure (120) disposée sur l'isolant avant.

Une voie de sortie pour défendre le concept Radiall serait éventuellement de présenter l'isolant/corps de contact non pas comme un isolant mais seulement une partie du corps et ainsi échapper à la revendication TE.

Le sujet dépasse le domaine de compétence du concepteur et est désormais suivi par le responsable du bureau d'études qui fera éventuellement appel à un cabinet spécialisé. La menace est de son point de vue assez faible.

## Synthèse des essais et poursuite du projet

Pour synthétiser les résultats des essais et simulations effectués dans le but de valider le concept N2 je vais reprendre le tableau des FCS présenté plus haut :

30

Fonctions critiques	Moyens de validation	Résultats
FP1 Continuité du signal	Mesure EMI – Résistances de contact (RC)  Simulation électromagnétique	<b>Non maîtrise de la CEM, essais complémentaire nécessaire, risque très élevé</b>
Ne pas être contrefacteur d'un brevet	Bibliographie Brevet	<b>Risque présent, évaluation en cours</b>
Résister aux conditions extérieures	Essai de brouillard salin – cycles de températures,  Vibrations	<b>Risques faibles, à vérifier après J3</b>
Pouvoir être câblé-assemblé	Essais câblage et avec opérateurs	<b>Risques faibles, bon niveau de confiance dans la solution</b>

Figure 20 - Tableau de synthèse de la validation du concept

Il subsiste encore un risque très important sur la compatibilité électromagnétique du produit bien que le concept soit crédible sur les autres fonctions critiques. Il est nécessaire de lever le risque sur la CEM avant de poursuivre sur les autres fonctions du produit. La stratégie proposée est la suivante :

- Obtenir les rapports de qualification des contacts Quadrax concurrents et comparer les méthodes et résultats d'essais CEM
- Renouveler des essais CEM avec davantage d'échantillons et un analyseur de réseau adapté aux fréquences du Quadrax.
- Contacter les experts Airbus pour connaître les possibilités de dérogation aux spécifications CEM

Sous l'aspect gestion des ressources et du temps il apparait que le projet a largement dépassé la date butoir d'avril 2018 pour la validation du concept. Il apparait également que les essais vont se poursuivre au-delà d'août 2018. La raison de cette dérive temporelle est ma difficulté à mesurer le temps nécessaire à chaque étape de validation et notamment le nombre de boucles et le délai de

réponse de chaque partie prenante au projet. Lorsqu'il est question de ressources humaines comme les experts sollicités sur une longue période, il est nécessaire d'anticiper les plages de présences et la charge de chacun sous peine de se voir refuser une demande. C'est un exercice difficile qui s'est avéré critique sur les aspects d'expertise CEM, toutes les ressources étant situées à Voreppe cela a rajouté une difficulté supplémentaire dans la gestion du calendrier. Davantage d'actions auraient pu être accomplies et peut être que le contact aurait pu être complètement évalué à cette échéance, néanmoins ce niveau d'anticipation requiert une connaissance fine des processus de validation à Radiall et même une forte expérience dans la connectique, ce que je n'avais pas durant ce projet.

31

La direction et la stratégie projet sont cependant définies et si le concept satisfait aux essais complémentaires de CEM alors les travaux effectués jusqu'à maintenant permettront de justifier la continuation de ce projet stratégique pour Radiall.

## Annexe 1 – Composition du contact Quadrax

32

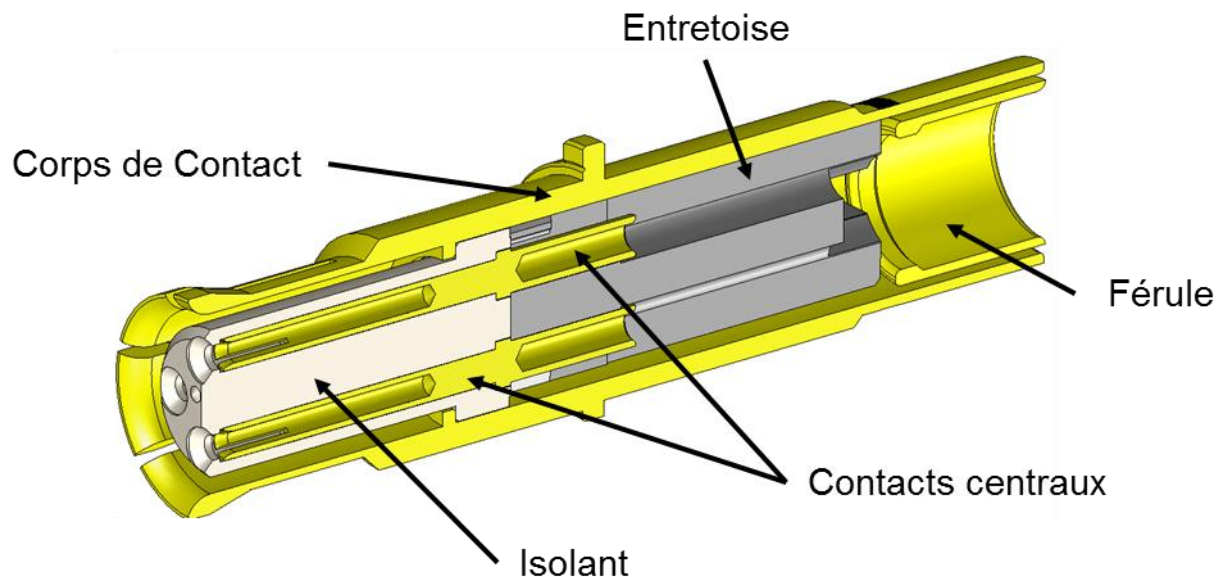


Figure 21-Vue en coupe d'un contact Quadrax Femelle

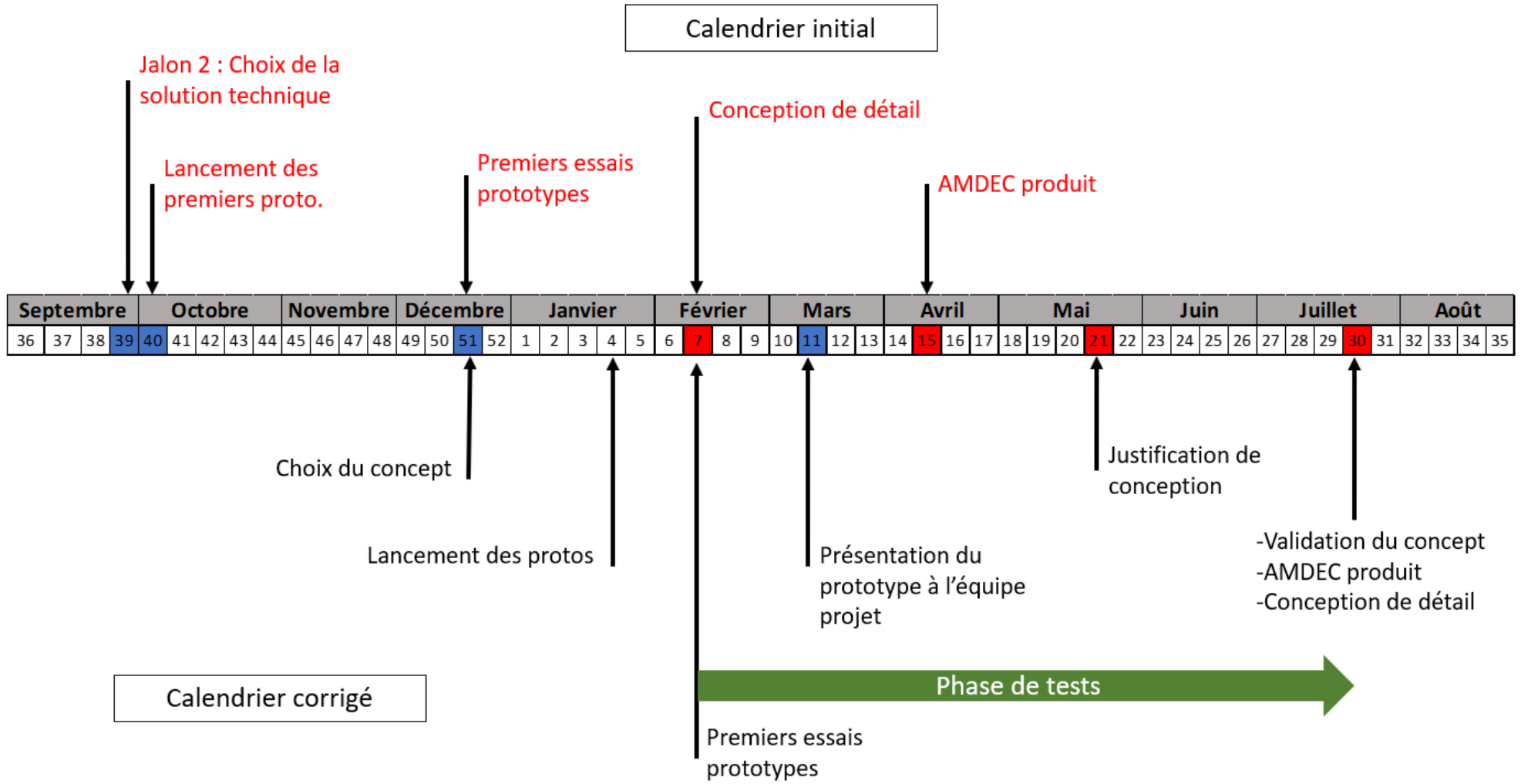
La composition du produit Quadrax peut être présentée comme suit ; on distinguera quatre sous-ensembles correspondants à des fonctions précises (voir figure 5) :

- Le corps de contact qui compose la structure du contact et qui maintient les composants ensemble. Il sert également à assurer la continuité électrique entre la masse du câble Quadrax (la tresse) et le corps de boîtier NSX et protège aussi les contacts centraux des rayonnements électromagnétiques parasites. Le corps à base d'alliage de cuivre est protégé de l'oxydation par un traitement de surface consistant en une dorure
- Les 4 contacts centraux assurent la continuité électrique du signal entre l'équipement et le câble Quadrax ou entre deux segments de câble Quadrax.
- L'isolant et l'entretoise tous deux en polymère servent à isoler les contacts centraux et le corps de contact et à les positionner dans la bonne orientation pour permettre l'accouplement des Quadrax mâles et femelles.
- La férule sert « d'enclume » lors du sertissage du corps de Quadrax sur la tresse du câble : Le sertissage hexagonal appliqué sur la partie arrière du contact viendra pincer la tresse entre le corps et la férule pour assurer le maintien mécanique de l'assemblage.



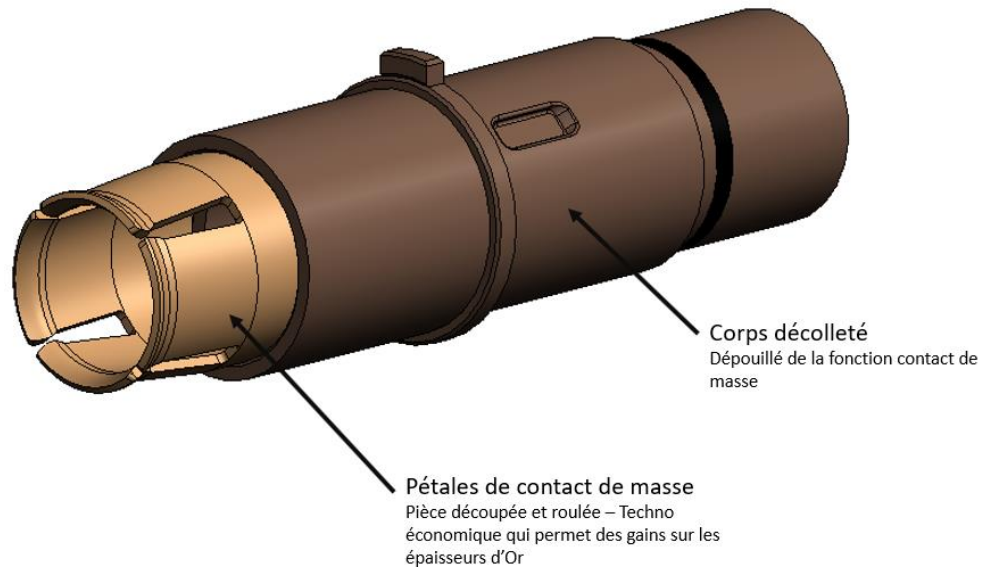
### Annexe 2 – Calendrier

33

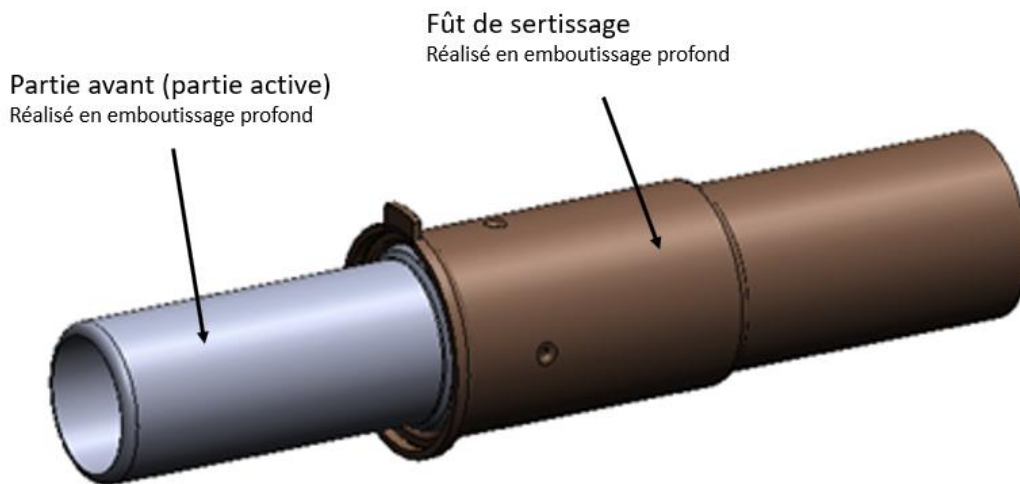


## Annexe 3 – Solutions K4 et H1

34

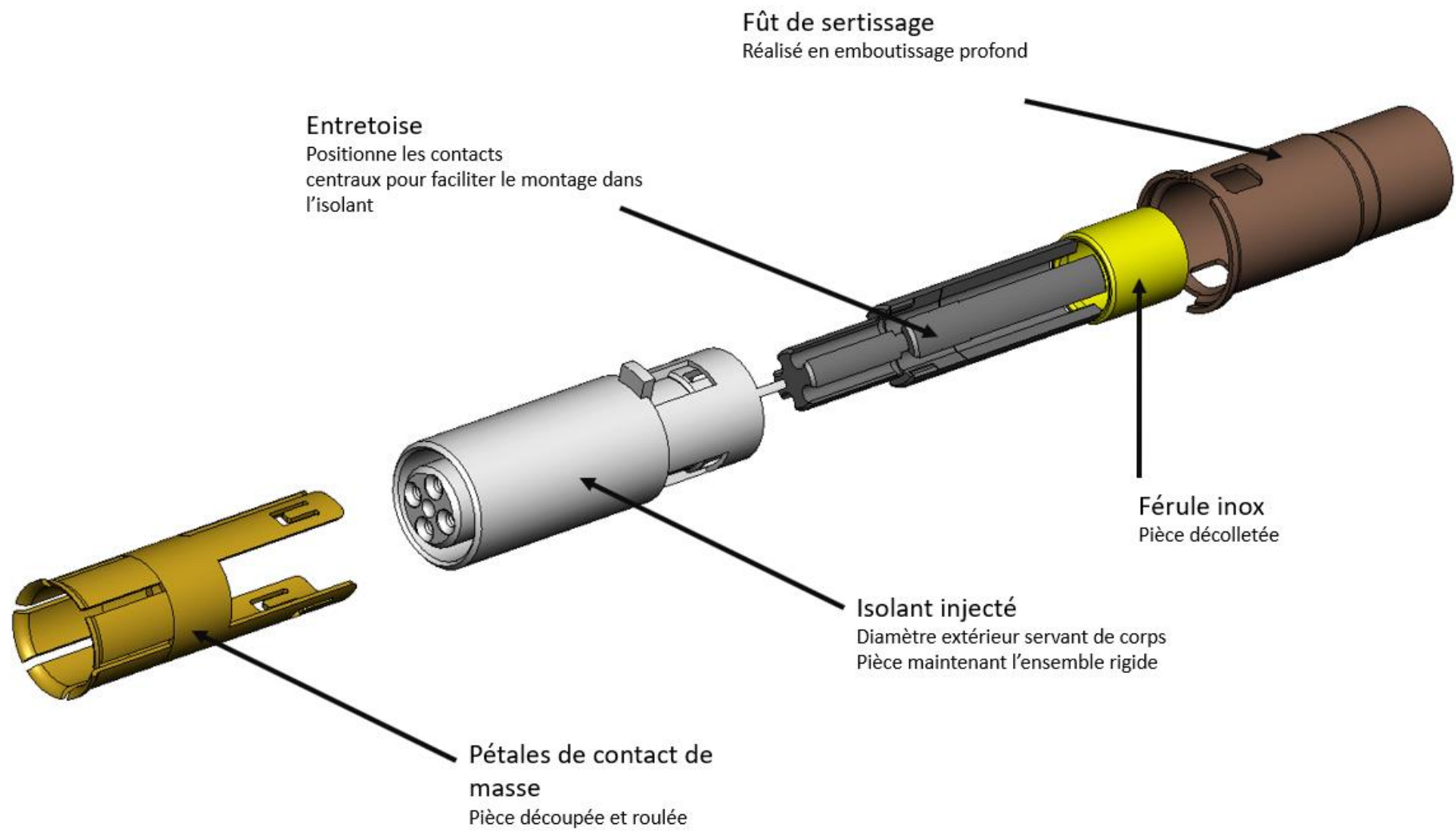
*Solution K4*

La solution K4 est un corps de Quadrax femelle dont la partie active (les pétales), usinée et couteuse dans la solution standard, est remplacée par une pièce en découpage formage – obtenue avec une presse équipée d'un outil à suivre – La baisse des coûts d'obtention reste marginale bien que la solution nous garantissent des risques limités (Corps décolleté maîtrisé, pièce en découpe simple)

*Solution H1*

La solution de corps de contact H1 composée de deux parties réalisées en emboutissage profond. Le gain par rapport au contact standard est trop loin de l'objectif fixé.

### Annexe 4 – Solution N2



## Annexe 5 – Isolant solution N2

36

