

Comprendre le choix des connecteurs et des câbles pour les applications spatiales

Rolf Horn, Applications Engineer chez Digi-Key Electronics

Au cours de la dernière décennie, les engins spatiaux en orbite terrestre sont devenus des industries majeures avec des applications de masse. Cela s'est traduit par le déploiement d'un grand nombre de satellites aux missions très variées, qui fonctionnent sur des orbites terrestres basses, moyennes et géostationnaires (LEO, MEO, GEO). Indépendamment de leur taille, de leur origine ou de leur mission, tous ces satellites ont un point commun dans leur nomenclature : la nécessité de disposer de nombreux connecteurs et câbles électriques pour les signaux et l'alimentation.

Bien que ces connecteurs et câbles n'aient pas le facteur glamour de l'électronique embarquée active ou de la mission plus large du satellite, leurs performances, leur fiabilité et leur constance sont essentielles à la conception, au déploiement et à la longévité du satellite. Par conséquent, la sélection et l'application d'interconnexions appropriées constituent un facteur important de la réussite de la mission. Elles doivent fournir les fonctionnalités de base tout en minimisant la taille et le poids, et en même temps, répondre aux exigences uniques de fiabilité et de robustesse requises pour le lancement et le vol spatial.

Heureusement, en raison de la demande d'un volume relativement élevé d'interconnexions en ce 21^e siècle, les connecteurs et les câbles qualifiés pour l'espace sont désormais des composants standard disponibles auprès des fournisseurs via des distributeurs, ce qui représente un changement majeur par rapport à il y a seulement une ou deux décennies, où ils constituaient des articles spécialisés, souvent commandés sur mesure.

Cet article étudie les exigences des connecteurs et des câbles qualifiés pour l'espace et leur sélection appropriée. Il présente ensuite des solutions de [Harwin](#) qui peuvent contribuer au succès des missions.

Exigences en matière de câbles et de connecteurs pour l'espace

Autrefois principalement réservés aux missions de la NASA avec des engins spatiaux ésotériques ou des satellites de communication/navigation, les lancements de satellites LEO, MEO, GEO sont devenus des événements presque routiniers. Certains de ces lancements donnent lieu au déploiement d'une dizaine de satellites ou plus, y compris les petites unités CubeSat populaires développées par les universités, certains lycées et même des groupes scientifiques amateurs.

Cependant, l'espace est un environnement difficile pour les composants électroniques de tous types. Les problèmes potentiels incluent des connexions intermittentes, des performances inférieures aux spécifications, voire une panne pure et simple. Ces problèmes commencent avec les vibrations du lancement et s'étendent au froid et au vide des opérations orbitales et au-delà. Ces problèmes imposent de nombreuses exigences de performances des connecteurs ainsi que des contraintes en matière de conception et d'implémentation. Ils sont tous unis par le terme général de priorités de fiabilité et par le caractère peu pratique ou l'impossibilité d'une réparation ou d'un remplacement en vol. Outre la taille, le poids, les chocs et les vibrations, il faut tenir compte du dégazage, de l'aimantation rémanente, des extrêmes de températures et du cyclage thermique, du rayonnement cosmique, de la décharge en surface, et de l'orientation des connecteurs :

- *Poids et taille (volume)* : Un véhicule spatial et son satellite sont soumis à de sévères contraintes pour ces deux facteurs pour des raisons de rendement du carburant et du fait

que chaque centimètre cube de volume est précieux dans une conception spatiale où le volume est limité.

- *Accélération, vibrations et chocs* : La phase de lancement difficile entraîne des dizaines de g sur une large gamme de fréquences. C'est pourquoi les connecteurs répertoriés pour l'espace spécifient généralement des vis d'accouplement ou des conceptions de verrouillage dans la mesure du possible pour garantir une connexion sécurisée.
- *Dégazage* : Les conditions de chaleur et de vide de l'espace augmentent le taux de dégazage des connecteurs. Les matériaux tels que les élastomères et les plastiques peuvent libérer lentement des composés organiques volatils (COV) qui ont été dissous, piégés, gelés ou absorbés dans le matériau sous forme de gaz ou de vapeur. Même l'époxy et d'autres colles courantes peuvent libérer ces COV, ce qui nécessite l'utilisation de colles spéciales. Les COV peuvent entraîner une contamination susceptible de sérieusement affecter les performances des équipements essentiels à la mission en interférant avec les surfaces optiques et les instruments délicats. Dans le cas d'un connecteur répertorié pour l'espace, les COV sont « chassés » du matériau en cuisant les connecteurs à une température élevée dans un four scellé sous vide.
- *Aimantation rémanente* : Celle-ci peut interférer avec les performances des circuits et des sous-systèmes environnants, provoquant des lectures erronées des capteurs de précision. Pour minimiser ce phénomène, il peut être nécessaire d'utiliser des matériaux non magnétiques lorsque cela est possible, comme les alliages de cuivre.
- *Plage de températures* : La plage de températures étendue des connecteurs répertoriés pour l'espace est généralement de -65°C à $+150^{\circ}\text{C}$. Cependant, le cyclage thermique est également un problème : les contraintes répétées qui en résultent peuvent induire des microfissures et même des ruptures par fatigue. Certains satellites sont conçus pour tourner afin d'équilibrer leur température moyenne entre les faces exposées au soleil et celles qui sont à l'ombre. Il s'agit d'une solution inadéquate pour les plus grands satellites, car la surface et la sous-surface peuvent encore faire l'objet d'un cyclage thermique important par rapport aux zones plus profondes. Dans les petits satellites, comme les CubeSats, la plupart des composants sont relativement proches de la surface.
- *Rayonnement cosmique* : Celui-ci augmente à mesure que l'altitude d'exploitation du satellite s'élève et que l'atmosphère protectrice de la Terre s'amincit. Les effets de ce rayonnement inévitable sont similaires, à certains égards, aux effets des interférences électromagnétiques (EMI). Bien que l'enceinte métallique de l'engin spatial assure un certain niveau de protection, il peut être nécessaire d'inclure un blindage supplémentaire sur les circuits imprimés ou les câbles qui sont sensibles aux effets du rayonnement.
- *Décharge en surface* : Il s'agit d'une décharge électrique continue de fort courant d'un conducteur vers la surface métallique la plus proche. Le contournement se produit à différentes valeurs de tension en fonction de la densité des molécules d'air, le vide spatial étant le cas extrême. Les connecteurs doivent donc avoir une tension nominale adaptée à l'altitude.
- *Considérations physiques* : L'orientation du connecteur et de son câble est essentielle. Les satellites sont évidemment très denses, et les CubeSats, populaires mais minuscules, portent cette densité à un nouveau niveau (Figure 1). Une seule unité CubeSat (U) est normalisée à $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, et un satellite CubeSat complet peut avoir une taille de 1U, 2U, 3U, 6U ou 12U.

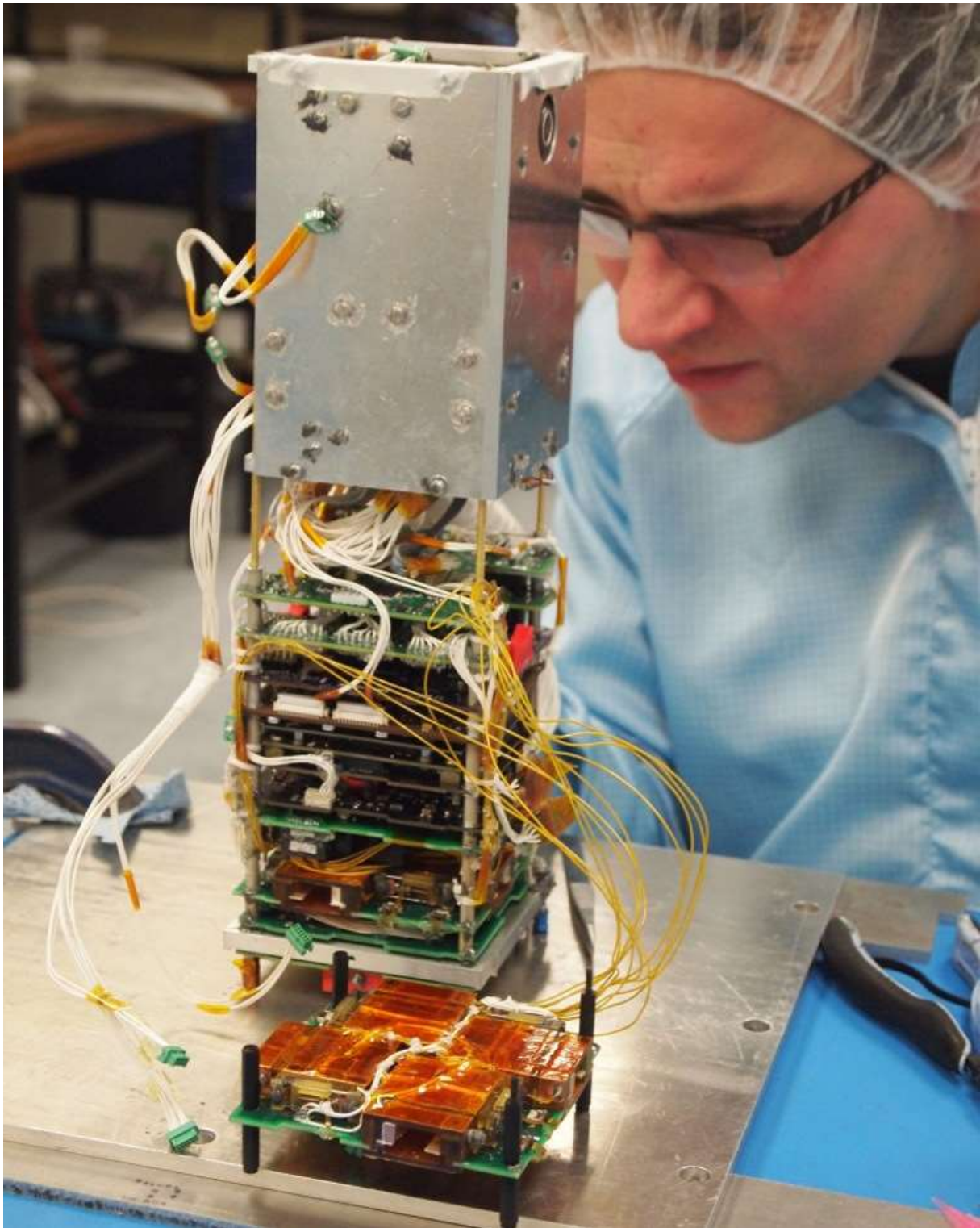


Figure 1 : La conception de satellite CubeSat populaire est basée sur un format de petit module standard qui permet la superposition en différentes longueurs incrémentielles. (Source de l'image : Harwin)

Si le connecteur est conçu de manière à ce que les câbles soient orientés verticalement perpendiculairement au circuit imprimé, les cartes à l'intérieur du CubeSat ne peuvent pas être étroitement espacées car le connecteur et le câble interfèrent. Cependant, les connecteurs horizontaux et les assemblages de câbles correspondants résolvent ce problème en routant les câbles depuis le bord de la carte latéralement autour du bord de la pile, réduisant ainsi le dégagement requis au-dessus du circuit imprimé.

Une taille unique n'est pas universelle et ne le sera probablement jamais

Les différences de tensions, de courants, de fréquences et d'autres exigences de performances des divers chemins d'interconnexion impliquent qu'une seule famille de connecteurs serait largement sous-spécifiée ou sur-spécifiée dans de nombreuses situations, et aucune de ces conditions n'est acceptable, bien que pour des raisons différentes. En outre, il n'existe pas de « norme » unique définissant un connecteur répertorié pour l'espace. Au lieu de cela, il existe des normes pour des attributs de performances spécifiques tels que le dégazage. La liste de sélection NPSL (NASA Parts Selection List) est utilisée comme guide pour la spécification des composants pour les technologies spatiales. Les composants figurant sur ces listes de pièces qualifiées (QPL) sont spécifiques aux applications spatiales. En Europe, les connecteurs de grade spatial portent la qualification de l'Agence spatiale européenne (ESA/ESCC). Un concepteur qui sélectionne des connecteurs doit trouver un équilibre entre les caractéristiques des connecteurs et la criticité de la mission. Une spécification excessive des connecteurs peut entraîner de sérieux problèmes de coût et de disponibilité/délai d'approvisionnement. Dans le même temps, il serait regrettable et frustrant qu'un CubeSat tombe en panne prématurément en raison de problèmes de connecteurs inadéquats ou mal compris. Il est donc important de fournir une perspective réaliste des exigences du projet par rapport aux options de connecteurs et de câbles.

De nombreux choix disponibles pour répondre aux besoins

Pour permettre aux concepteurs d'adapter leurs choix de manière optimale aux exigences de l'espace, des fournisseurs tels que Harwin proposent plusieurs familles de connecteurs. Chaque famille, à son tour, présente de multiples variantes en ce qui concerne le type et le nombre de contacts, la configuration de raccordement, les options de retenue et d'autres caractéristiques. Les familles de connecteurs pertinentes de Harwin incluent les suivantes :

- La gamme [Mix-Tek Datamate](#) offre un large éventail de configurations pour les connecteurs de signaux, d'alimentation et coaxiaux, ce qui permet aux ingénieurs de choisir les configurations de connecteurs les mieux adaptées à leurs applications (Figure 2). Les contacts d'alimentation sont répertoriés jusqu'à 20 ampères (A), les contacts de signaux acceptent 3 A, et les contacts coaxiaux offrent des performances de 6 gigahertz (GHz) avec une impédance de 50 ohms (Ω).

Datamate Mix-Tek

Hi-Rel 4mm pitch, power or coax, with additional signal options.

20A & 40A power contacts, 50Ω coax contacts. Ultimate flexibility, proven track record.

CURRENT: 40A



VIBRATION: 10G



SHOCK: 100G



TEMPERATURE: -55°C TO +125°C



OPERATIONS: 500



Gecko-MT

Figure 2 : La série Mix-Tek Datamate prend en charge des combinaisons de connecteurs de signaux (3 A), d'alimentation (20 A) et coaxiaux (6 GHz). (Source de l'image : Harwin)

La haute fiabilité est due à l'utilisation de contacts tournés en conjonction avec les clips de contacts en cuprobéryllium à quatre lames de Harwin. Les connecteurs Mix-Tek sont disponibles dans une variété de configurations de fils et de cartes avec un maximum de 50 contacts basse fréquence ou 12 contacts (coaxiaux et alimentation) spéciaux. Les connecteurs à pas de 2 mm peuvent être mélangés et associés avec presque toutes les combinaisons de contacts de signaux, d'alimentation et coaxiaux.

- La gamme de connecteurs à pas de 8,5 mm haute fiabilité [Kona](#) offre une connexion à fort courant de haute qualité pour les environnements exigeants (Figure 3). Les contacts protégés individuellement fournissent un courant continu de 60 A à 3000 volts (V) par contact, avec une durabilité de 250 cycles de raccordement. La conception de contacts à six lames est en cuprobéryllium et plaquée or afin de maintenir la continuité électrique en cas de vibrations et de chocs importants, et elle est disponible en boîtier compact à une rangée en configurations câble-à-carte.

Kona

High-Reliability at 8.5mm pitch power with 3,000V voltage rating.

Ultimate power in a compact, individually shrouded housing with thumbscrews.

CURRENT: 60A



VIBRATION: 20G



SHOCK: 100G



TEMPERATURE: -65°C TO +150°C



OPERATIONS: 250



M300

Figure 3 : Les connecteurs à pas de 8,5 mm série Kona supportent jusqu'à 60 A de courant continu et 3000 V par contact. (Source de l'image : Harwin)

- Les [connecteurs d'alimentation M300](#) offrent une plage de puissances nominales haute fiabilité et hautes performances, et permettent une connexion électrique compacte avec jusqu'à 10 A par contact, fournissant ainsi une solution légère et robuste qui a fait ses preuves en conditions extrêmes (Figure 4). Les connecteurs fournissent une protection contre les vibrations et les chocs grâce à des vis d'accouplement en acier inoxydable.

M300

Hi-Rel 3mm pitch system capable of 10A per contact.

Compact power, durability and maximum resilience. Increased temperature resistance.

CURRENT: 10A



VIBRATION: 20G



SHOCK: 100G



TEMPERATURE: -65°C TO +175°C



OPERATIONS: 1000

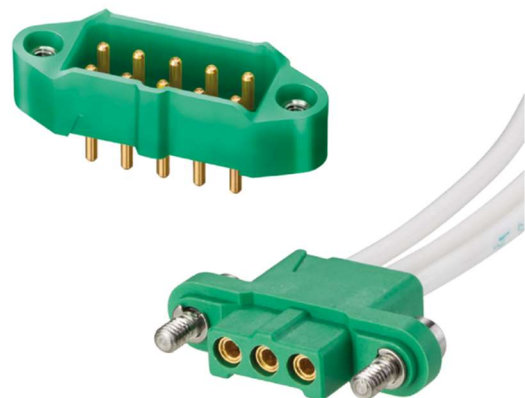


Figure 4 : Les connecteurs d'alimentation M300 fournissent une connexion électrique compacte avec jusqu'à 10 A par contact. (Source de l'image : Harwin)

La conception éprouvée des contacts à quatre lames maintient la continuité électrique malgré les vibrations et les chocs élevés. Ces connecteurs de cartes à pas de 3 mm, ces connecteurs de câbles à sertir et ces assemblages de câbles prêts à l'emploi sont capables de résister à des températures comprises entre -65°C et +175°C, et supportent 1000 cycles de raccordement.

Gamme spéciale propulsée par CubeSat

La gamme de connecteurs et d'assemblages de câbles Gecko est conçue pour répondre à des volumes relativement élevés et à des exigences moins strictes dans certaines dimensions pour les applications CubeSat (Figure 5). Ces connecteurs fournissent des solutions d'interconnexion câble-à-carte et carte-à-carte extra-plates, et conviennent particulièrement à la superposition et au raccordement de câbles dans les zones où l'espace carte est limité.



Figure 5 : La gamme Gecko de connecteurs extra-plats est disponible dans un vaste choix de styles, de configurations et de nombres de contacts. (Source de l'image : Harwin)

Les connecteurs Gecko sont des connecteurs rectangulaires haute fiabilité à pas de 1,25 mm, et ils sont fournis sous forme de boîtiers de connecteurs avec des contacts remplaçables commandés séparément. Les connecteurs utilisent des boîtiers et des contacts à sertir, et sont disponibles en versions mâle et femelle. Les connecteurs verticaux et horizontaux à montage traversant et les connecteurs verticaux à montage en surface sont destinés à l'interconnexion câble-à-câble, câble-à-carte et carte-à-carte.

Les connecteurs Gecko sont jusqu'à 45 % plus petits et jusqu'à 75 % plus légers que les

équivalents standard existants et Micro-D, avec un poids typique d'environ 1 gramme (g). Ils sont proposés en trois variantes qui ne sont pas interchangeables :

- [Série de connecteurs Gecko-SL \(Screw-Lok\)](#) : Connecteur doté de vis flottantes pour une interconnexion sûre et robuste avec son homologue (Figure 6). Les connecteurs Screw-Lok peuvent également être dotés de goujons pour le montage sur carte ou sur panneau afin d'assurer le maintien de la carte à circuit ou du boîtier. Les contacts sont répertoriés à 2,8 A par contact en isolement et à 2,0 A pour tous les contacts simultanément. Ces connecteurs sont proposés sous forme de connecteurs horizontaux et d'assemblages de câbles correspondants pour la superposition de cartes haute densité.

Gecko-SL

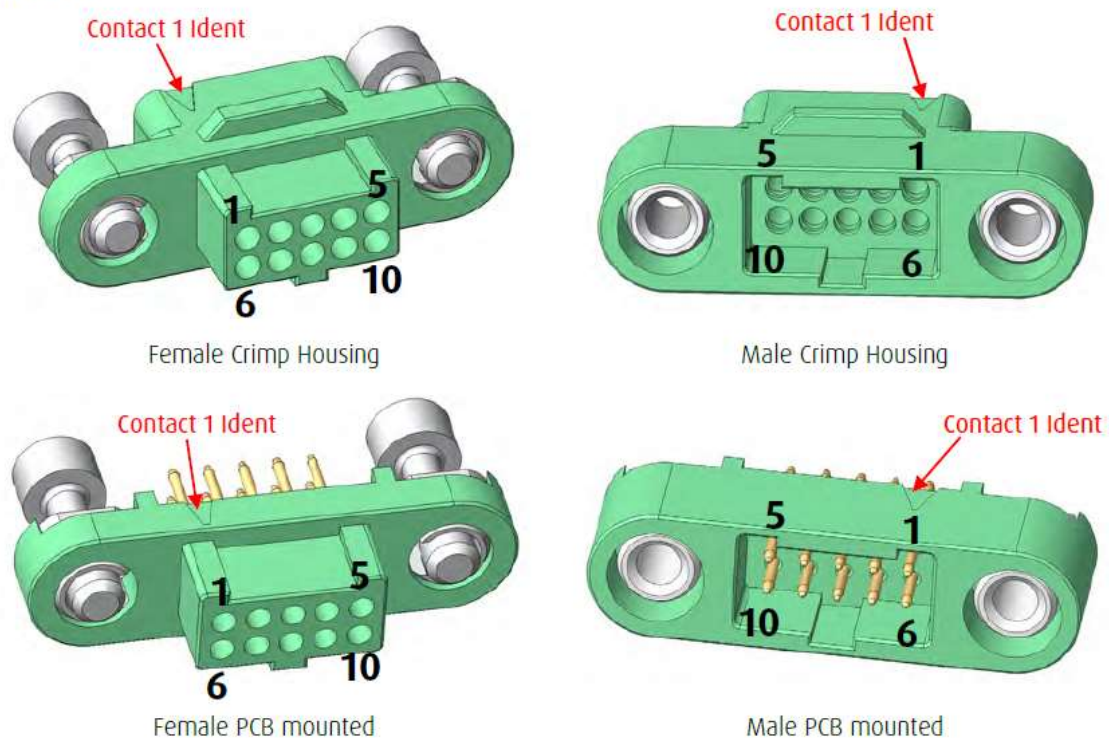


Figure 6 : Les contacts de la série Gecko-SL sont répertoriés à 2,8 A par contact en isolement et à 2,0 A pour tous les contacts simultanément. (Source de l'image : Harwin)

Par exemple, le [G125-3241696M2](#) est un connecteur Gecko-SL rectangulaire à montage sur panneau à 16 contacts, à pas de 1,25 mm (Figure 7).



Figure 7 : Le Gecko-SL G125-3241696M2 est un connecteur Gecko-SL rectangulaire à montage sur panneau à 16 contacts, à pas de 1,25 mm. (Source de l'image : Harwin)

- Gecko-MT (technologie mixte) : Ces connecteurs sont des versions à technologie mixte de la série Gecko-SL (Figure 8). En complétant les contacts de données avec deux ou quatre contacts d'alimentation de 10 A dans des configurations alimentation/données de 1 + 8 + 1 ou 2 + 8 + 2, les produits Gecko-MT permettent de réduire considérablement l'espace et le poids du matériel électronique.

Gecko-MT

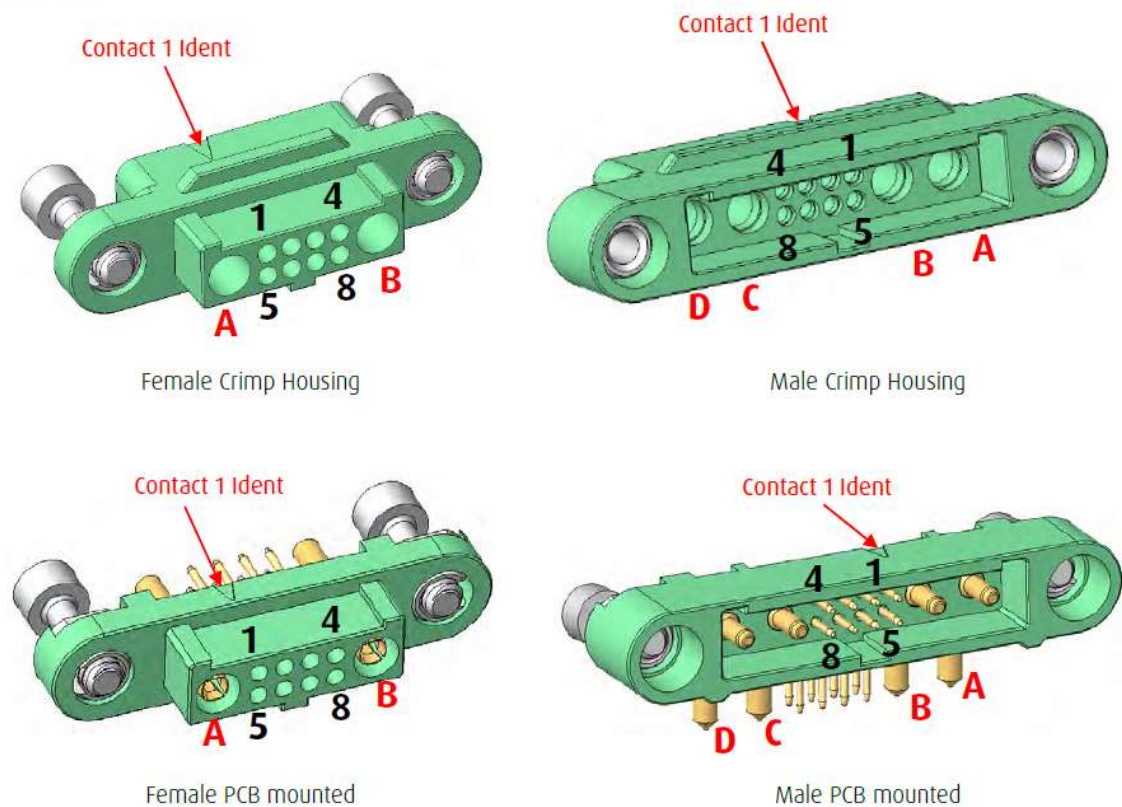


Figure 8 : Le Gecko-MT est similaire au Gecko-SL, mais prend en charge les contacts d'alimentation et de signaux mixtes dans un seul boîtier de connecteur. (Source de l'image : Harwin)

Ils sont disponibles en configuration à câble ou à trou traversant, avec les mêmes variantes de fixation Screw-Lok que les connecteurs Gecko-SL, et dans une variété de configurations de contacts de signaux (rangée double) et d'alimentation (rangée simple). Le [G125-FV10805F1-1AB1ABP](#) est une embase Gecko-MT à 10 positions avec 8 contacts de signaux et 2 contacts d'alimentation, permettant à un seul connecteur de remplir les deux fonctions (Figure 9).



Figure 9 : Le connecteur G125-FV10805F1-1AB1ABP de la série Gecko-MT comporte huit contacts de signaux et deux contacts d'alimentation. (Source de l'image : Harwin)

- Gecko Latch (conception originale) : Les connecteurs mâles de cette famille peuvent être équipés de loquets de verrouillage faciles à libérer pour une interconnexion sécurisée avec le connecteur homologue femelle (Figure 10).

Gecko Latch

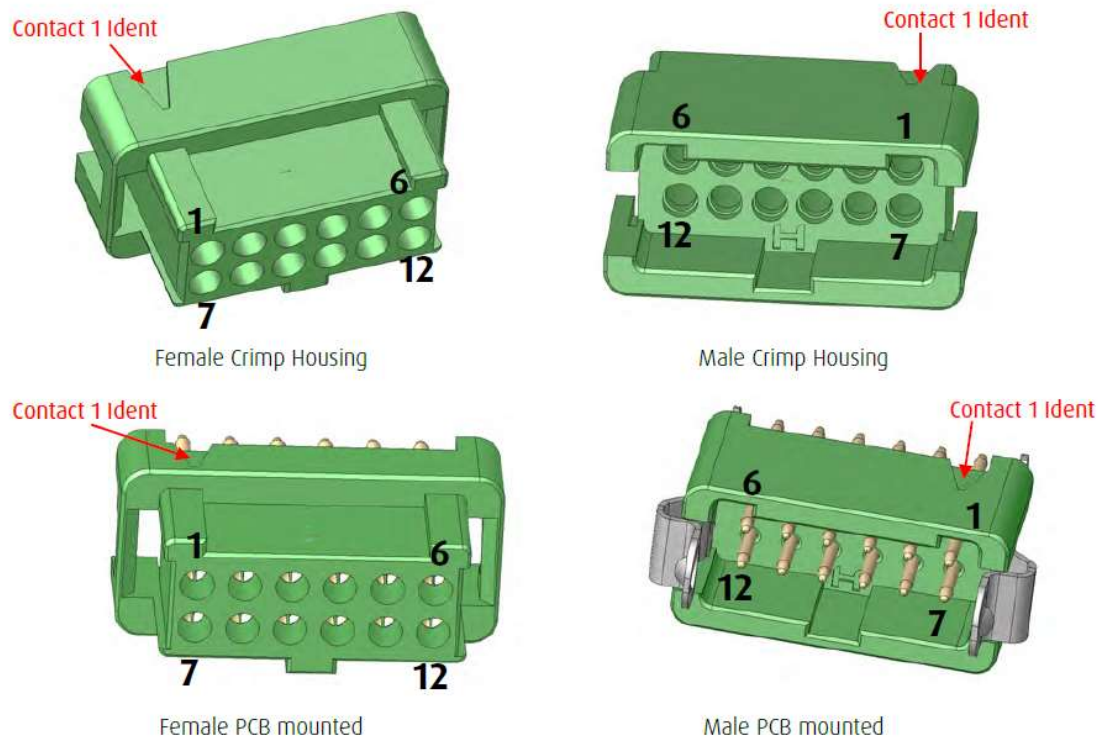


Figure 10 : Les connecteurs Gecko Latch offrent des loquets faciles à dégager entre les paires mâle et femelle. (Source de l'image : Harwin)

Le [G125-FS12005L0R](#), une embase à montage en surface à 20 positions, est un exemple de conception Gecko Latch (Figure 11).

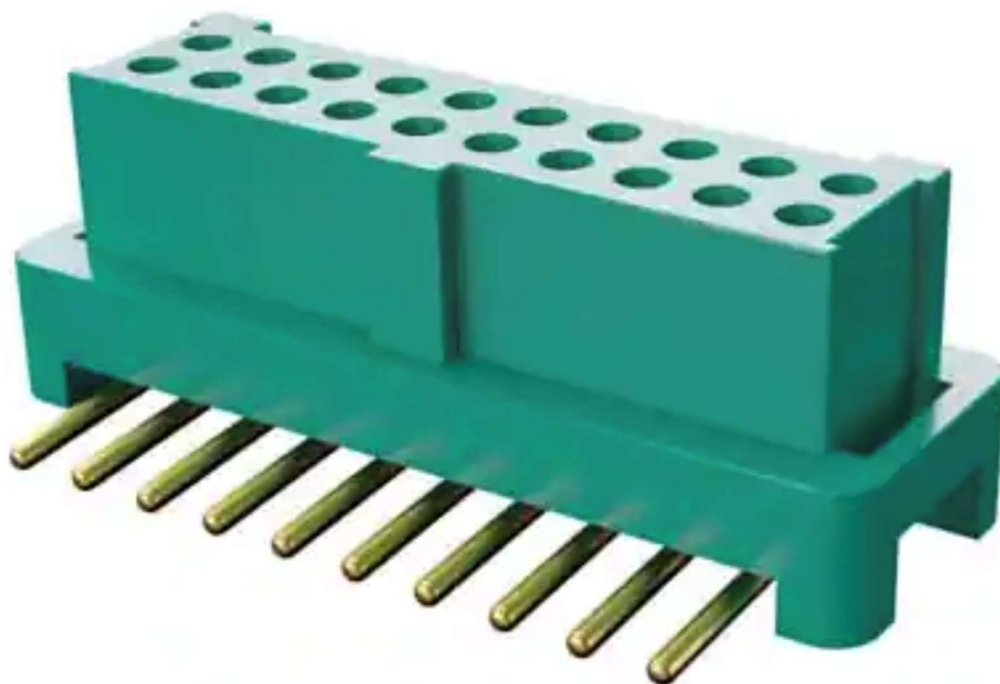


Figure 11 : L'embase à montage en surface à 20 positions G125-FS12005L0R appartient à la famille Gecko Latch. (Source de l'image : Harwin)

Les séries Gecko-SL et Latch offrent entre 6 et 50 contacts dans une configuration à deux rangées. Les boîtiers des connecteurs sont polarisés pour prévenir les erreurs de raccordement et le de contact numéro 1 est indiqué sur l'extérieur des boîtiers. Des capots métalliques en option, compatibles avec les connecteurs Gecko-SL et Gecko-MT, sont disponibles pour fournir une protection mécanique, radiofréquence (RF) et EMI, comme le capot [G125-9702002](#) pour les connecteurs Gecko-SL à 20 positions (Figure 12).



Figure 12 : Les capots métalliques, tels que le G125-9702002 pour les connecteurs Gecko-SL à 20 broches, offrent aux utilisateurs la possibilité d'ajouter une protection mécanique et EMI renforcée à leurs connecteurs Gecko-SL et Gecko-MT. (Source de l'image : Harwin)

Comme les capots sont optionnels, les conceptions n'exigeant pas une telle protection ne sont pas alourdies par le poids d'un connecteur avec un boîtier métallique. Pour plus de flexibilité, les capots se fixent sur le circuit imprimé plutôt que sur le connecteur.

Ne pas oublier le câble et l'assemblage

Il est facile de consacrer du temps et de l'énergie à la sélection des connecteurs, mais ce n'est qu'une partie de l'histoire de la connectivité, car le câblage associé à un connecteur est tout aussi important. Les choix d'interconnexion dictés par le type de signal et l'installation incluent les fils de base, les paires torsadées, les fils blindés et les câbles coaxiaux. Les concepteurs font face à cinq choix lorsqu'il s'agit d'obtenir un assemblage de câble :

1. Do-it-yourself (fabrication en interne)
2. Utilisation de fils et de contacts pré-sertis
3. Utilisation d'assemblages de câbles prêts à l'emploi
4. Spécification d'un assemblage de câble complet, fabriqué sur commande, qui est une variation de produits standard
5. Spécification d'un assemblage de câble entièrement personnalisé, conçu spécialement pour répondre aux besoins

Grâce à la large utilisation des connecteurs Gecko, de nombreux assemblages de câbles nécessaires sont disponibles en articles standard prêts à l'emploi, réduisant les délais d'approvisionnement et les incertitudes. Par exemple, le [G125-FC11205F0-0150F0](#) est un assemblage de câble à 12 positions de 150 mm de long, conçu pour les interconnexions prise-à-prise rectangulaires (Figure 13).



Figure 13 : Le câble et l'assemblage global constituent l'interconnexion complète. Ce G125-FC11205F0-0150F0 est un assemblage de câble à 12 positions de 150 mm de long, pour les interconnexions prise-à-prise rectangulaires, et il est disponible en tant que composant standard. (Source de l'image : Harwin)

Conclusion

Il est important de rechercher des connecteurs aussi petits et légers que possible pour la classe de performances requise, et de ne pas les sur-spécifier lorsque des valeurs ou des objectifs plus serrés ne sont pas nécessaires. Cela est particulièrement vrai sur le marché CubeSat, car ces satellites miniatures sont conçus pour être empilés dans une fusée où l'espace et le poids sont très importants. Pour ces satellites populaires, presque destinés au marché de masse, les connecteurs et les assemblages de câbles Gecko permettent aux concepteurs de gérer les réalités de performances et de coûts, et de concilier les différents compromis, parfois contradictoires, lors de la sélection des composants.