



Solutions de test  
avancées pour les  
applications destinées  
aux petits satellites

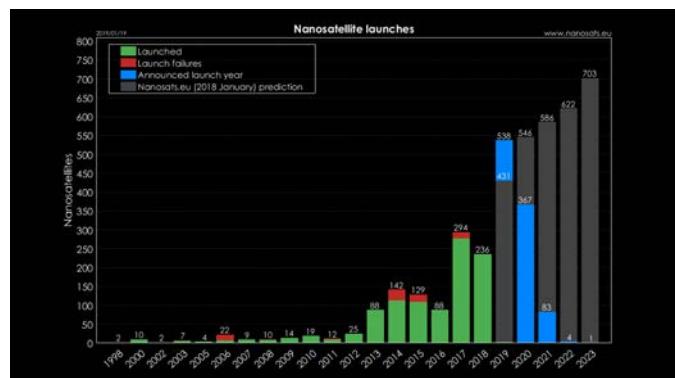
## Les petits satellites offrent de nouvelles opportunités

La mise en orbite des satellites a toujours constitué un immense défi technique. Historiquement, cela en a fait le domaine réservé aux gouvernements et aux grandes organisations. Mais si les fabricants de satellites traditionnels possédant la puissance et les ressources nécessaires pour relever ce défi et dominant encore le marché, une nouvelle génération de systèmes satellitaires ouvre de nouvelles voies pour les applications non critiques. Ces nouvelles possibilités sont ouvertes à tous et peuvent favoriser la croissance d'applications commerciales pour grand public, faciliter des activités éducatives ou encore rendre possibles des projets de recherche à bas coût.

Par exemple les CubeSats, initialement conçus en 1999, ont dépassé le seul domaine de la recherche universitaire et ont pénétré le domaine commercial. La conception des CubeSats, dont le design est basé sur un cube de 10 cm de côté, a été facilitée grâce à la constante miniaturisation de l'électronique embarquée. La faible masse des CubeSats (moins de 1,33 kg) réduit de manière significative les coûts de lancement et permet de partager un lanceur avec des satellites de plus grande taille.

Les CubeSats - qui pèsent entre 1 et 10 kg - sont classés dans la catégorie « nanosatellites », une sous-catégorie dans la classification des satellites qui englobe l'ensemble des appareils pesant moins de 500 kg. Cette classification comprend sept catégories qui vont des minisatellites (de 100 à 500 kg) aux « zeptosatellites » (de 0,1 à 1 g). Selon la base de données en ligne recensant les nanosatellites - nanosats.eu -, plus de 1 800 CubeSats et nanosatellites ont été lancés depuis le déploiement de la technologie, comme illustré dans la Figure 1.

Bien qu'initialement déployés dans le cadre de l'exploration de l'espace lointain - principalement comme éléments auxiliaires de satellites traditionnels de plus grande taille - les petits satellites sont également utilisés en orbite terrestre



basse pour des applications telles que l'expérimentation scientifique, la télédétection et les télécommunications. La croissance exponentielle de l'IoT / IdO (Internet des Objets) constitue peut-être le principal moteur de cette tendance à l'utilisation de petits satellites : l'appétit mondial pour une plus grande connectivité et davantage de bande passante pousse en effet les investisseurs vers l'industrie spatiale. Deux entreprises en particulier se trouvent au cœur de cette transformation : SpaceX qui abaisse les coûts en développant des fusées réutilisables (figure 2) et OneWeb qui révolutionne l'économie de la production et du déploiement des satellites. Le positionnement agressif de SpaceX sur le marché en a fait un véritable chef de file de l'industrie, ce qui a bouleversé un marché précédemment mature et a généré une concurrence féroce entre les acteurs actuels comme Arianespace en Europe et le fournisseur de services de lancement américain, United Launch Alliance.

Un certain nombre de progrès transforment l'économie de la production et du lancement de petits satellites en réduisant le coût de l'accès à l'espace et en rendant l'usage de satellites pertinent pour une large gamme de nouvelles applications.

## Les petits satellites offrent de nouvelles opportunités

La popularité grandissante des petits satellites - et en particulier des nanosatellites (masse humide entre 1 et 10 kg) et des picosatellites (masse humide entre 0,1 et 1 kg) - offre aux développeurs de...

---

**...nombreuses possibilités pour mettre rapidement et à bas coût des projets de satellites en place pour diverses applications allant de la mesure et de la détection à distance aux expériences scientifiques.**

---

Les caractéristiques propres aux missions des petits satellites permettent d'appliquer des principes moins contraignants en matière de conception et de test qu'avec les satellites traditionnels. Mais les tests de pré-lancement et d'intégration restent cependant essentiels, notamment pour les fonctions de transmission. Tester aux fréquences utilisées par un satellite demeure complexe et exige un équipement coûteux. Pour de nombreux développeurs, étant donné la faible fréquence d'utilisation du matériel de test, son coût et l'impact sur le budget global d'un projet, font que l'acquisition de ce matériel



n'a pas de sens. Or, les solutions flexibles d'approvisionnement que propose Electro Rent - un leader mondial dans le domaine des matériels de test - offre des solutions rentables pour acquérir un matériel de test et de mesure à la pointe et sans avoir à effectuer d'investissements en capitaux. Ce document examine la dynamique en pleine évolution du marché des satellites et détaille les implications ainsi que les opportunités pour les développeurs d'applications sur petits satellites.

## Concevoir pour des environnements extrêmes

L'espace est un environnement extrêmement dur qui menace sérieusement l'intégrité des composants des satellites. Pendant le lancement, les forces générées par l'accélération, ajoutées aux chocs et aux vibrations associés à la séparation des divers étages des fusées, sont susceptibles de déloger composants et connecteurs. Une fois en orbite, un satellite subit des températures extrêmement élevées et extrêmement basses, doit fonctionner dans un vide extrême et se trouve exposé à des interférences électromagnétiques et au rayonnement énergétique. Pour atténuer les risques associés à ces conditions, la conception traditionnelle des satellites passe par des techniques telles que l'usage de composants renforcés répondant à la norme mil-spec, la redondance intégrée, et des processus de test rigoureux. En raison de l'absence d'espace physique et des contraintes budgétaires, nombre de ces techniques sont cependant inadaptées aux projets portant sur de petits satellites. Les cycles d'implémentation courts et les budgets limités associés à un grand nombre d'applications de petits satellites ne permettent pas d'appliquer le même niveau de tests étendus.

Le tableau 1 illustre de quelle manière les missions en lien avec les satellites peuvent être catégorisées en fonction de la tolérance aux risques. Cette analyse met en lumière un certain nombre de facteurs à prendre en compte dans l'établissement de spécifications pour petits satellites, notamment :

- La majorité des lancements de satellites s'effectue en orbite basse, où l'environnement n'est pas aussi dur que dans l'espace lointain.
- La majorité de ces missions sont courtes, elles sont souvent effectuées en quelques jours ou semaines, ce qui réduit les effets cumulés de l'exposition aux conditions spatiales.
- De nombreuses applications de petits satellites font appel à une constellation de multiples satellites, ce qui signifie que le dysfonctionnement d'un ou même de plusieurs d'entre eux ne compromet pas la réussite globale de la mission.
- Des coûts de lancement et de production relativement faibles rendent le remplacement d'un satellite dysfonctionnel plus aisé.

Tolérance au risque	Très basse	Basse	Élevée	Très élevée
Caractéristiques de la mission	Criticité de la mission	Sécurité Nationale	Opérationnel Science primaire	Démonstrations techniques Expérimental
	Durée de la mission - orbite basse	5 ans et plus	de 3 à 5 ans	Mois
	Durée de la mission - espace lointain	10 ans et plus	5 ans et plus	Mois
	Satellite unique	Mission opérationnelle	Collecte de données	Expérimentation
	Constellation de plus de 10 satellites	Défaillances en mode commun exclus	Coût élevé de l'unité	Véhicules de recharge multiples
	Temps de développement du vol	5 ans et plus		Inférieur à 12 mois

Tableau 1 : Analyse du profil de risques des missions liées aux satellites

## Concevoir pour des environnements extrêmes

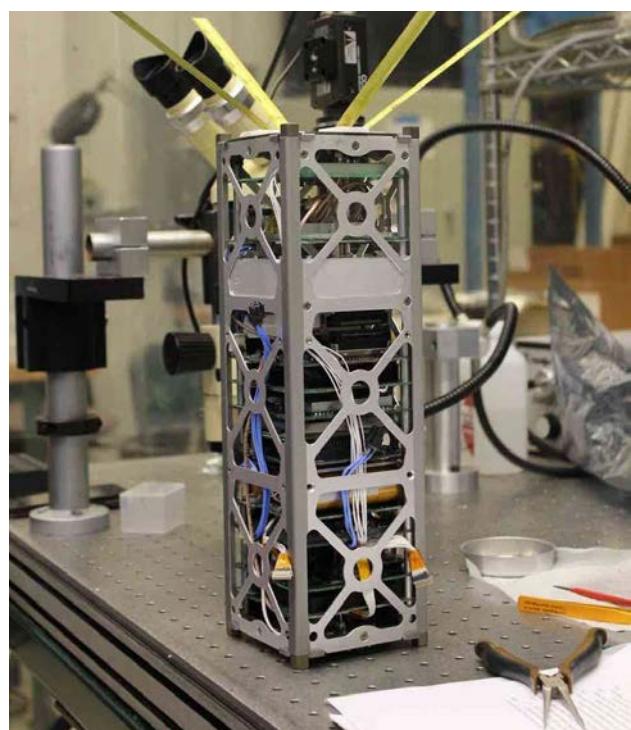
Ces facteurs rendent possible l'application de spécifications moins contraignantes aux missions de lancement de petits satellites ainsi que l'utilisation de composants commerciaux prêts à l'usage non spécifiquement destinés à une utilisation dans l'espace. C'est une des principales raisons qui font que la conception de petits satellites peut être effectuée rapidement et à bas coût, ce qui a rendu possible le développement de nombreux modules fonctionnels standardisés tels que les systèmes d'alimentation électrique, de communication, et autres.

Le CubeSat est le modèle originel des nanosatellites. Son architecture open source est basée sur un cube de 1U (cube de 10 cm de côté) mais celui-ci peut aller de 1U à 3U (Figure 3). Les matériaux autorisés pour la structure des CubeSats sont les alliages d'aluminium suivants : 7075, 6061, 5005 et 5052. Ceux-ci doivent être anodisés afin d'éviter le soudage à froid. Les composants des CubeSats peuvent être classés en six catégories principales de sous-systèmes : structure, communication, alimentation, détermination et contrôle de l'attitude, commande et traitement des données, et enfin charge utile.

Par opposition à une pièce de matériel standard, le CubeSat est en soi une spécification, de sorte que les développeurs de petits satellites ont le choix de tout construire par eux-mêmes en suivant les spécifications open source CubeSat ou en achetant un kit préconstruit auprès de sociétés telles que Pumpkin ou Interorbital Systems (IOS). Un kit préconstruit fournit l'ensemble des composants essentiels d'un CubeSat, notamment : une antenne, un poste émetteur-récepteur, un ordinateur-sur-une-puce (par exemple un Arduino ou un Basic-X24), un système d'alimentation électrique - habituellement des cellules

photovoltaïques -, une batterie et un bus d'alimentation, ainsi que divers capteurs. Les kits permettent également d'inclure l'application développée ou de réaliser l'expérience voulue et sont conçus comme des plateformes pour les expériences en orbite.

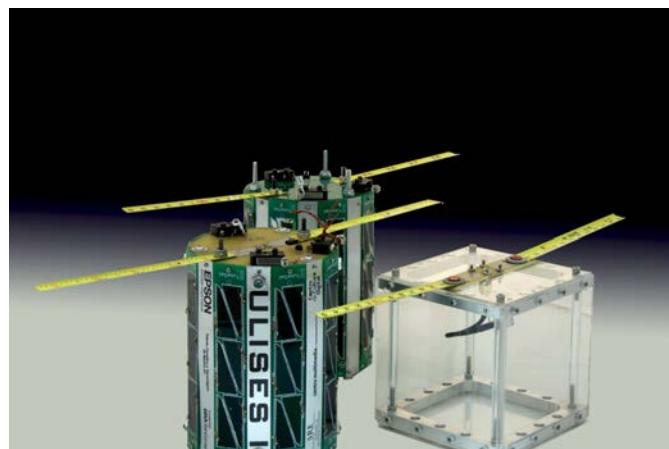
IOS propose également le kit TubeSat PicoSat (Figure 4), qui fournit une alternative au CubeSat avec seulement 75 % de la masse de ce dernier dans un volume équivalent. Les tarifs des CubeSats de 1U débutent à 7 500 dollars chez Pumpkin Inc, et le tarif du kit TubeSat pour les applications dans la recherche est de 8 000 dollars, ce qui comprend les frais de lancement, offerts par IOS.



## Tester pour l'espace

Bien que les petits satellites soient peu coûteux en comparaison des systèmes de satellites traditionnels, des tests adaptés demeurent néanmoins nécessaires pour garantir que le travail de développement en amont du lancement ne soit pas effectué en vain et que le satellite réalise bien les tâches pour lesquelles il a été conçu. En faisant l'acquisition d'un kit du type mentionné ci-dessus, les développeurs ont donc accès à des satellites dont les fonctions principales ont été pré-testées, ce qui leur permet de se concentrer sur la conception, le développement et la fonctionnalité de l'application elle-même ainsi que sur les tests d'intégration du satellite final, une fois celui-ci assemblé. Les éléments clés d'un satellite devant être testés comprennent :

- Panneaux solaires
- Antennes
- Batteries
- Vérifications électriques
- Mesure du centre de gravité et de la masse
- Piles à combustible
- Systèmes de transmission des données



Les prévisions annonçant le lancement d'un nombre élevé de satellites en orbite basse, le nombre de postes émetteurs-récepteurs augmentera également de manière significative, constituant ainsi le moteur du développement de techniques de transmission sophistiquées qui impliquent l'usage de fréquences encore plus élevées, une modulation complexe et des techniques à large spectre. Les systèmes de transmission satellitaires doivent être capables de supporter de larges débits de données sur des fréquences d'ondes millimétriques tout en conservant une haute-fidélité du signal et en étant capables de filtrer les interférences RF provenant d'autres satellites.

---

**Les développeurs de petits satellites doivent trouver un équilibre entre l'impératif de tester minutieusement les systèmes de communication RF du satellite et la nécessité de gérer la contrainte de la durée et des coûts des tests.**

---

Une vaste gamme de matériel de test et de mesure haute performance - notamment les générateurs de signaux analogiques et vectoriels, les analyseurs de spectre, les oscilloscopes, les analyseurs de réseau et bien plus - sont désormais disponibles sur le marché et permettent d'effectuer l'ensemble des tests de canaux RF, depuis une station au sol à une autre, ainsi que la communication inter-module au sein des satellites eux-mêmes. La section suivante détaille les avantages qu'offre Electro Rent avec sa gamme complète d'équipements et de solutions de test.

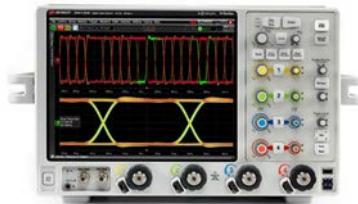
## Solution d'Équipement de Test

Un certain nombre de tests opérationnels et d'intégration sont nécessaires pour déterminer pleinement et valider les performances d'un système satellitaire RF, comme résumé par le tableau 2.

Test	Description	Instrumentation
Amplificateurs de linéarité et transfert de gain	Les transpondeurs satellitaires ou les composants tels que les amplificateurs de puissance et les convertisseurs de fréquence sont caractérisés par des mesures telles que la compression de gain, la MA/MA, la MA/MP et la distorsion NPR/ACLR.	Générateur de signal Analyseur de signal
Retard de groupe / Group Delay	La qualité d'une voie de transmission dans les communications satellite se mesure via les distorsions de phase, elles-mêmes déterminées par des mesures de Retard de groupe / Group Delay	Générateur de signal Analyseur de signal
Rapport de puissance de bruit (NPR - Noise Power Ratio)	Un important test de charge utile RF standard. Les tests NPR impliquent la simulation d'une distribution de type bruit gaussien d'une charge utile de communication multicanal et les mesures NPR sont effectuées pour tester la linéarité du transpondeur	Générateur de signal Analyseur de Signal/spectre
Qualité du signal	La qualité des liaisons par satellites durant l'intégration ainsi qu'en opération en basse orbite est vérifiée en mesurant la précision de la modulation et le taux d'erreur binaire (Te ou BER en anglais).	Analyseur de signal/spectre
Rayonnements parasite / Spurious Emissions	La recherche des rayonnements parasites à l'aide d'analyseurs de spectre constitue une mesure essentielle durant la conception, la vérification et la production des dispositifs RF et Hyperfréquence.	Analyseur de spectre
Test d'interface numérique / Digital Interface Testing	La communication des données entre les divers systèmes et composants au sein d'un satellite est cruciale pour la réussite d'une mission et doit être garantie dans toutes les conditions	Oscilloscope
Test de l'alimentation électrique	Fourniture d'une alimentation électrique suffisante au sous-système électrique, minimisant la consommation d'énergie des batteries et assurant une charge efficace de ces dernières	Alimentations électriques spécialisées

Tableau 2 : Exigences en matière de test pour les petits satellites

## Test Equipment Solutions



### Les oscilloscopes Keysight DSAV204A Infiniium S Series

Que vous soyez en phase de débogage de votre dernière conception ou que vous souhaitez en vérifier la conformité, il est essentiel de disposer d'un oscilloscope représentant fidèlement votre signal. Cela exige une intégrité du signal de classe internationale. Les oscilloscopes Infiniium S-Series ont été conçus avec cette exigence à l'esprit. Les oscilloscopes de la série S offrent une base de temps, un affichage et une technologie ADC de qualité supérieure. Cela vous fournit une plateforme possédant une résolution pouvant s'élever à 16 bits, avec un faible bruit et une faible gigue (Low Noise, Low Jitter) et un grand nombre de bits effectifs (ENOB) - ce qui vous donne un aperçu des performances réelles de votre appareil.



### Analyseur de signal Keysight N9020B

Le N9020B MXA est un analyseur de signal flexible possédant une gamme de fréquences allant de 10 à 50 GHz et une bande passante d'analyse allant à 160 MHz. Il offre des mesures de puissance accélérées au niveau matériel, un rafraîchissement rapide de l'affichage, la possibilité de rechercher des pics de marqueurs, des balayages rapides, et aide à capturer des signaux insaisissables ou transitoires grâce à une analyse spectrale en temps réel et en bande complète. Cela vous permet de vous adapter rapidement aux évolutions des exigences de test des dispositifs sans fil, d'écourter les temps de test nécessaires et donc d'optimiser la durée des cycles de développement.



### Le FSW de Rohde & Schwarz

Le FSW de R&S propose une suite d'applications de mesure dédiées permettant d'effectuer l'ensemble des mesures principales, dont le rapport de puissance signal sur bruit et le retard de groupe (Delay Group). Il est également capable de démoduler les signaux RF satellites de plusieurs standards, tels que DVB-S2X et OneWeb. Ce dispositif étant évolutif, avec une bande passante d'analyse pouvant aller jusqu'à 2 GHz en interne, il est adapté aux nouveaux besoins en bande passante plus large.

### Anritsu MS2090A



Cet analyseur de spectre portable offre les plus hauts niveaux de performance RF disponibles sur un dispositif portable, avec un excellent niveau de bruit affiché moyen (DANL) de -164dBm, ainsi qu'une bande passante d'analyse de 100MHz. Cela vous permet de rechercher avec précision les interférences les plus difficiles et les signaux indésirables. Vous serez aidé dans le nettoyage du spectre en amont de nouveaux déploiements.

## Test Equipment Solutions



### Analyseur de réseau Keysight N5225B

En matière de R&D, la famille PNA de Keysight fournit un haut niveau d'intégrité dans les mesures, vous offrant ainsi une vision plus claire qui ouvre la voie à des conceptions plus pointues. À mesure que la production de satellites augmente, le besoin de réduire les coûts et d'augmenter la fiabilité des composants devient toujours plus pressant. Or, l'usage d'outils de grande précision au cours du processus de conception diminue les coûts ultérieurs dans le cycle de production.

### Générateur de signal SMBV100B de Rohde & Schwarz



### & Schwarz

Instrument de pointe, le SMBV100B de Rohde & Schwarz établit de nouvelles références dans sa catégorie. Pouvant être équipé d'une multitude d'options GNSS, il se transforme en un simulateur GNSS fiable et polyvalent. Cela permet à ses utilisateurs de simuler des scénarios de GNSS complexes pouvant aisément être recréés et ces opérations peuvent être effectuées dans des conditions contrôlées.



### Logiciel de test de la sécurité Testcenter de Spirent

Alors que les menaces posées par les cyberattaques deviennent de plus en plus sévères en raison de l'infrastructure interconnectée d'aujourd'hui, il devient plus important que jamais de tester correctement les réseaux et de garantir la sécurité des données. Les solutions logicielles Testcentre et Avalanche de Spirent permettent d'exécuter des tests intensifs en vue d'obtenir des réseaux de communication sûrs, d'évaluer les vulnérabilités, de générer des attaques et d'effectuer l'authentification des utilisateurs, ce qui comprend notamment les protocoles : IPSec, HTTPS/TLS (dont TLSv1.3), 802.1x, Network Access Control (NAC), RADIUS et le trafic personnalisé importé par les utilisateurs via TLS.



### Alimentations Keysight E4360A

Ces alimentations modulaires sont conçues pour simuler avec précision la courbe caractéristique IU des panneaux solaires utilisés sur les satellites dans des conditions environnementales variées : éclipse, tournoiement, rotation, vieillissement et température. De faible taille et à haute puissance, ces dispositifs sont idéaux pour l'espace limité des laboratoires satellites modernes d'aujourd'hui.

## Conclusion

Les instruments de test et de mesure capables de fonctionner aux fréquences utilisées par les systèmes de communication par satellite et avec les sensibilités requises constituent des systèmes complexes et représentent un investissement significatif pour les développeurs de petits satellites.

Avec un inventaire constamment maintenu à jour, Electro Rent détient un portefeuille d'équipements de test d'une valeur supérieure à un milliard et celui-ci est géré par une équipe de plus de 350 spécialistes répartis dans plus de 150 pays. Ce niveau d'assistance hors du commun est encore renforcé par toute une gamme d'options d'approvisionnement flexibles.

Les solutions de location proposées par Electro Rent offrent en effet une grande flexibilité sans avoir à encourir les frais élevés liés aux acquisitions et à la maintenance des équipements. La location permet ainsi d'accéder d'un jour sur l'autre à toute une gamme de produits proposés par les principaux fabricants : Anritsu, EXFO, Fluke, Keysight Technologies, Rohde & Schwarz, Tektronix, Viavi et plus de 300 autres. Le matériel en location est disponible pour des périodes pouvant se limiter à une semaine ou pour toute autre durée nécessaire. Cette flexibilité est conçue pour réduire les risques inhérents aux projets, tels que les retards dans la phase de conception ou les problèmes non prévus sur le terrain. Grâce au support à vie de l'ensemble de notre portefeuille, les fabricants et les concepteurs bénéficient encore d'un accès à certains équipements bien après l'arrêt de leur production sur le marché principal.

Dans les cas où l'acquisition d'un équipement donné est essentielle, nous offrons toute une gamme d'options de leasing et de location-acquisition permettant d'étaler les coûts dans le temps et d'éviter des dépenses de capitaux significatives.

Les développements récents au sein de l'industrie aérospatiale - notamment l'impératif de réductions des coûts et l'existence de nanosatellites et de picosatellites utilisant des composants communs sur le marché - rendent l'espace plus accessible économiquement pour un grand nombre d'applications dans les domaines des expériences scientifiques, du télécontrôle,

de la télédétection, des télécommunications et bien d'autres. Cela aura pour conséquence d'intensifier le rôle des satellites de grande taille traditionnels plutôt que de les remplacer car cela rend l'espace plus accessible aux fabricants actuels et l'ouvre à de nouveaux arrivants pour qui les coûts, la complexité technique et les temps de développement seraient par ailleurs prohibitifs.

Les kits préfabriqués tels que la gamme de CubeSats de Pumpkin et le TubeSat d'IOS simplifient le déploiement de petits satellites, permettent aux développeurs de se concentrer sur les spécificités de leurs applications, raccourcissent les temps de développement et abaissent les coûts. Toutefois, les petits satellites intégrés nécessitent avant leur lancement, des intensifs qui nécessitent pour leur part un matériel sophistiqué et coûteux. Lorsque le coût de l'acquisition d'un équipement essentiel est prohibitif en comparaison au budget et à la durée du projet concerné - en particulier dans le cas de projets dynamiques sur le court terme - la location des équipements est la solution idéale.

L'offre étendue de Electro Rent - qui comporte les solutions fournies par les leaders du marché - ainsi que notre capacité à fournir une expertise indépendante et à proposer des solutions d'approvisionnement flexibles permettent aux développeurs de petits satellites de réduire à la fois leurs dépenses en capitaux et les risques.





## Location

⋮

Accès rapide à notre vaste inventaire mondial sans les coûts de propriété élevés



## Acquérir Du Neuf

⋮

Plus de 200 marques parmi les fabricants les plus réputés



## Matériel D'occasion

⋮

Des produits d'occasion moins chers et sans compromis sur la qualité



## Solutions Financières

⋮

Des solutions rentables et adaptées à vos besoins



## Optimisation Des Actifs

⋮

Optimiser votre inventaire grâce à nos services de gestion des actifs

 **Electro Rent**

+33 1 45 12 65 65  
info@electrorent.com  
electrorent.com