

TECHNOLOGIES HABILITANTES

INTERVENANTS :

Gilles TRIAY - Groupe ADF

Matthieu DOLLON - Airbus Defence and Space

Les fondations des technologies quantiques

Des domaines techniques stratégiques

- Les technologies quantiques reposent sur la maîtrise de plusieurs secteurs :
 - Cryogénie (refroidissement à très basse température)
 - Électronique avancée
 - Lasers compacts et robustes
 - Sources et détecteurs de photons
 - Fabrication de semi-conducteurs
 - Matériaux spécifiques
 - Technologies du vide
- Ces domaines sont **transversaux** : Servent à d'autres applications industrielles cela limite le risque de désintérêt économique



Des technologies à maturité variable

Des briques communes mais à des stades différents

- Les technologies partagent des principes communs mais :
 - Elles ont chacune leurs spécificités.
 - Elles sont à des niveaux de maturité différents (recherche, démonstration, industrialisation).
- Importance stratégique :
 - Soutenir la montée en maturité (TRL) pour les besoins spatiaux.
 - Mutualiser les efforts entre recherche, industrie et service spatial.

La route technologique

Un enchaînement naturel des « produits » quantiques

• Étape 1 : Industrialisation des capteurs

- Exemple : gravimètres atomiques embarquables déjà opérationnels (cartes de gravité).

• Étape 2 : Communications quantiques

- Objectif : établir des réseaux sol/orbite pour distribuer l'intrication.
- TRL actuel : ~4 (sources et récepteurs).
- Démonstrations nécessaires pour valider la chaîne complète.

• Étape 3 : Calcul quantique

- Plusieurs filières en compétition : semi-conducteurs, supraconducteurs, ions piégés, atomes froids, photoniques.
- Nécessité de ne négliger aucune piste à ce stade.



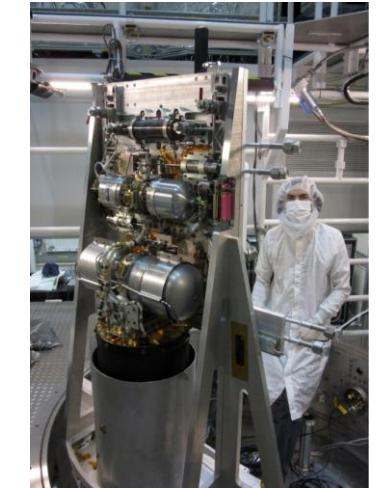
Technologies Spatiales en Occitanie

BRIQUES TECHNOLOGIQUES

Cryocoolers(2-4K et 40-80K)

Cryocoolers embarquables pour le spatial

- **Fonction** : refroidissement actif des composants quantiques (capteurs, communications).
- **Principe** : cycle fermé à l'hélium → compression/détente → expansion adiabatique → refroidissement.
- **TRL actuel** : TRL9 au sol (USA/Japon), mais non compatibles avec contraintes spatiales (forme, autonomie, fiabilité).
- **Verrous à lever** : durée de fonctionnement longue sans maintenance, compatibilité avec environnement spatial, dépendance aux composants hors UE27.



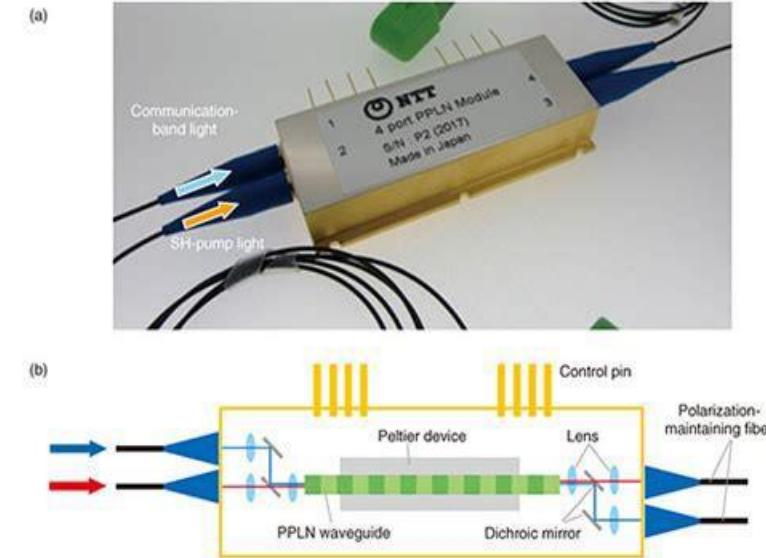
THALES
Cryogenics



Cristaux non-linéaires haute brillance

Cristaux non-linéaires pour photons intriqués

- **Fonction** : génération de photons intriqués (ressource clé des réseaux quantiques).
- **Principe** : laser de pompe → conversion paramétrique → émission simultanée de photons intriqués.
- **TRL actuel** : produits commerciaux disponibles, mais conditions spatiales non validées. Fournisseurs majoritairement asiatiques.
- **Verrous à lever** : autonomie stratégique européenne, spatialisation, amélioration de la brillance.



Cristal non-linéaire monté dans un contrôleur de température de la société NTT (Japon)

DéTECTEURS DE PHOTONS HAUTE EFFICACITÉ / FAIBLE BRUIT

Détecteurs de photons pour communications quantiques

- **Fonction** : mesure des observables, réception d'intrication, cryptographie quantique.
 - **Principe** : photomultiplicateurs (miniaturisés mais moins efficaces) vs supraconducteurs (efficacité proche de 100%, mais nécessitent cryogénie).
 - **TRL actuel** : TRL9 au sol, mais non adaptés aux contraintes spatiales.
 - **Verrous à lever** : miniaturisation des cryocoolers, réduction du bruit et des fausses détections.



Détecteur supraconducteur de photons et cryocooler de la société IDQuantique (Suisse)



Lasers compacts et robustes

Lasers télécom bande étroite pour le spatial

- **Fonction** : pompage des cristaux non-linéaires, contrôle des mémoires quantiques, capteurs atomiques.
- **Principe** : lasers à bande étroite, stabilité de longueur d'onde et puissance.
- **TRL actuel** : TRL8 au sol (capteurs quantiques), mais non qualifiés pour l'espace.
- **Verrous à lever** : robustesse mécanique et thermique, pilotage en puissance/impulsion, qualification spatiale.



Mémoires quantiques longue cohérence

Mémoires quantiques pour réseaux d'intrication

- **Fonction** : stockage temporaire des états intriqués pour synchronisation et téléportation.
- **Principe** : nuages d'atomes froids, centres NV dans diamant, terres rares dans cristaux optiques.
- **TRL actuel** : TRL4 (démonstrateurs labo).
- **Verrous à lever** : probabilité d'écriture/lecture proche 100%, temps de stockage > 1 s, fidélité élevée.



Mémoire quantique de la société Qunnect (USA)



Mémoire quantique de la société Welinq (FR)

Technologies Spatiales en Occitanie

SYSTÈME SATELLITAIRE QINSAT



DEFENCE AND SPACE

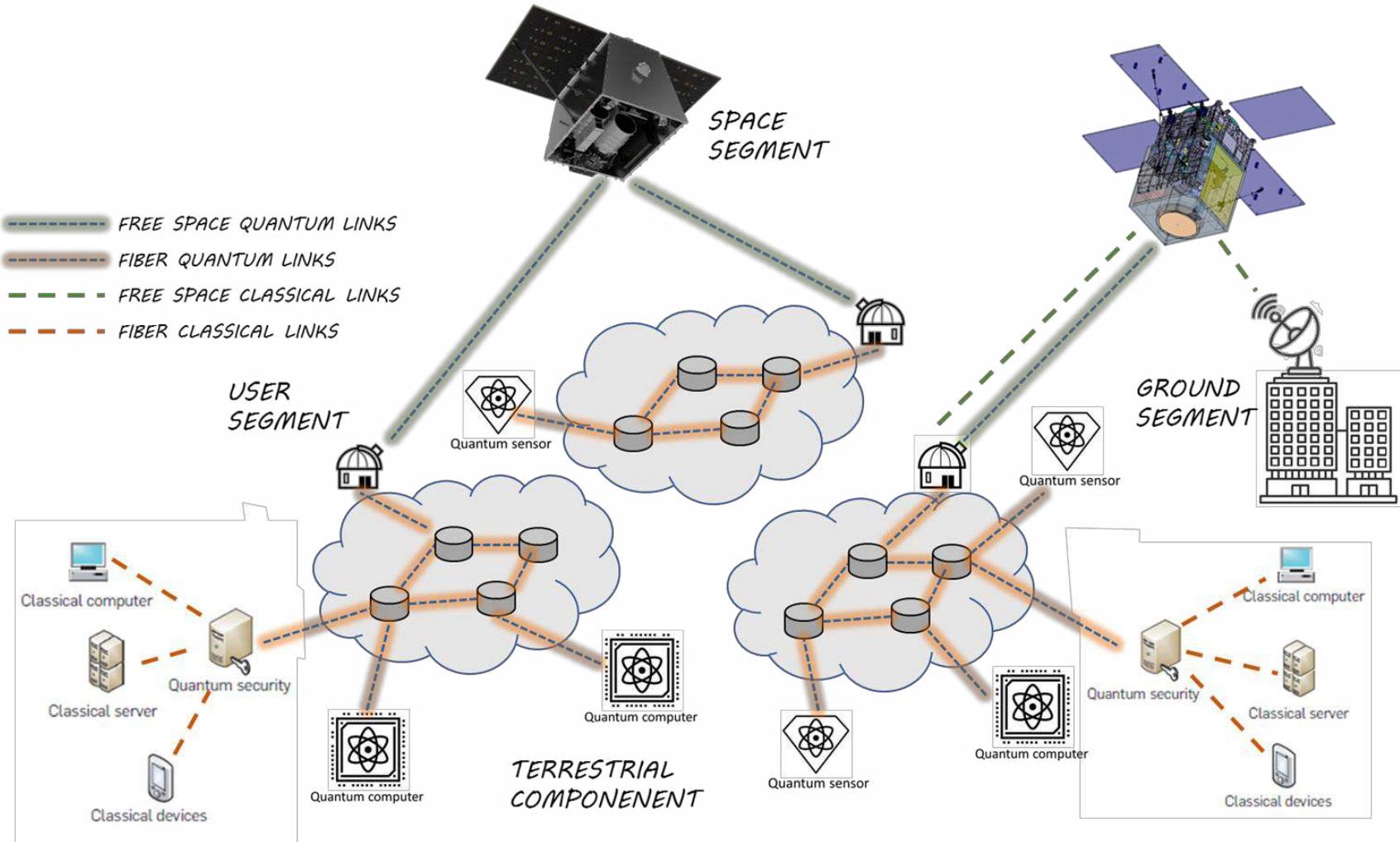
Communications Quantiques Spatiales Technologies habilitantes

Quantum-Communications Systems

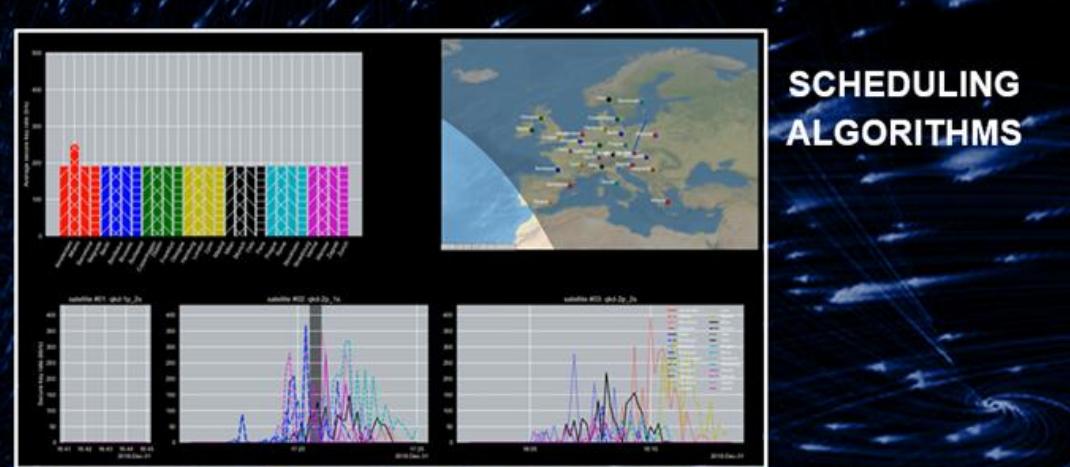
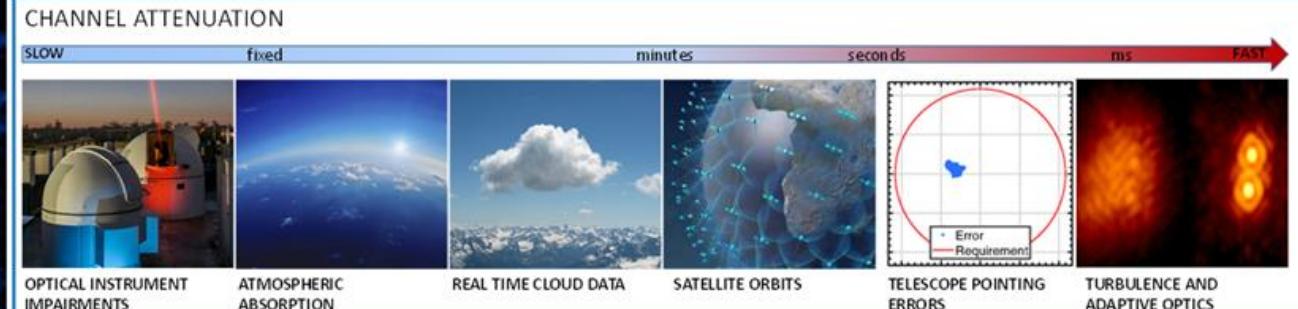
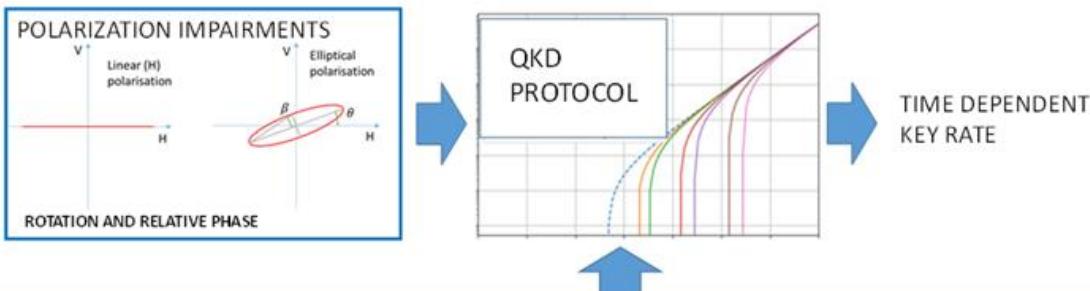
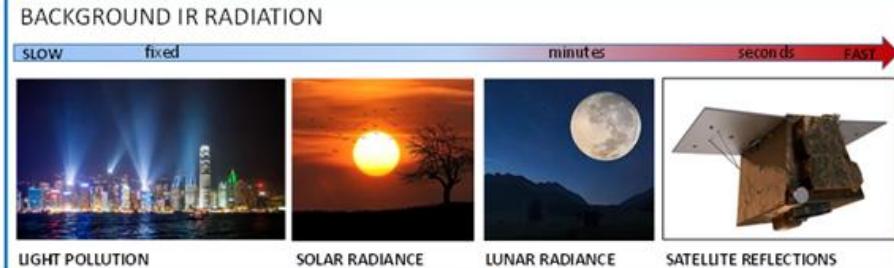
Quantum Communication systems encode information in photon quantum state using optical fiber for short distances and satellite for long distances.

Technologies

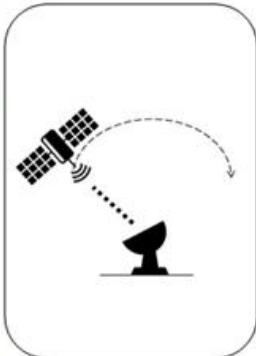
- System simulation tool: sizing, performance prediction, BB specification
- Technology Building Blocks
- Freespace system driver
- Satellite to ground link validation



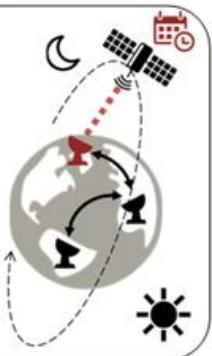
ENVIRONMENTAL AND E2E FACTORS DEGRADE PERFORMANCE NEED TO COMPENSATE WITH A HIGH LINK LEVEL CAPACITY



FAVOURABLE SATELLITE PASSAGE



E2E DELIVERY



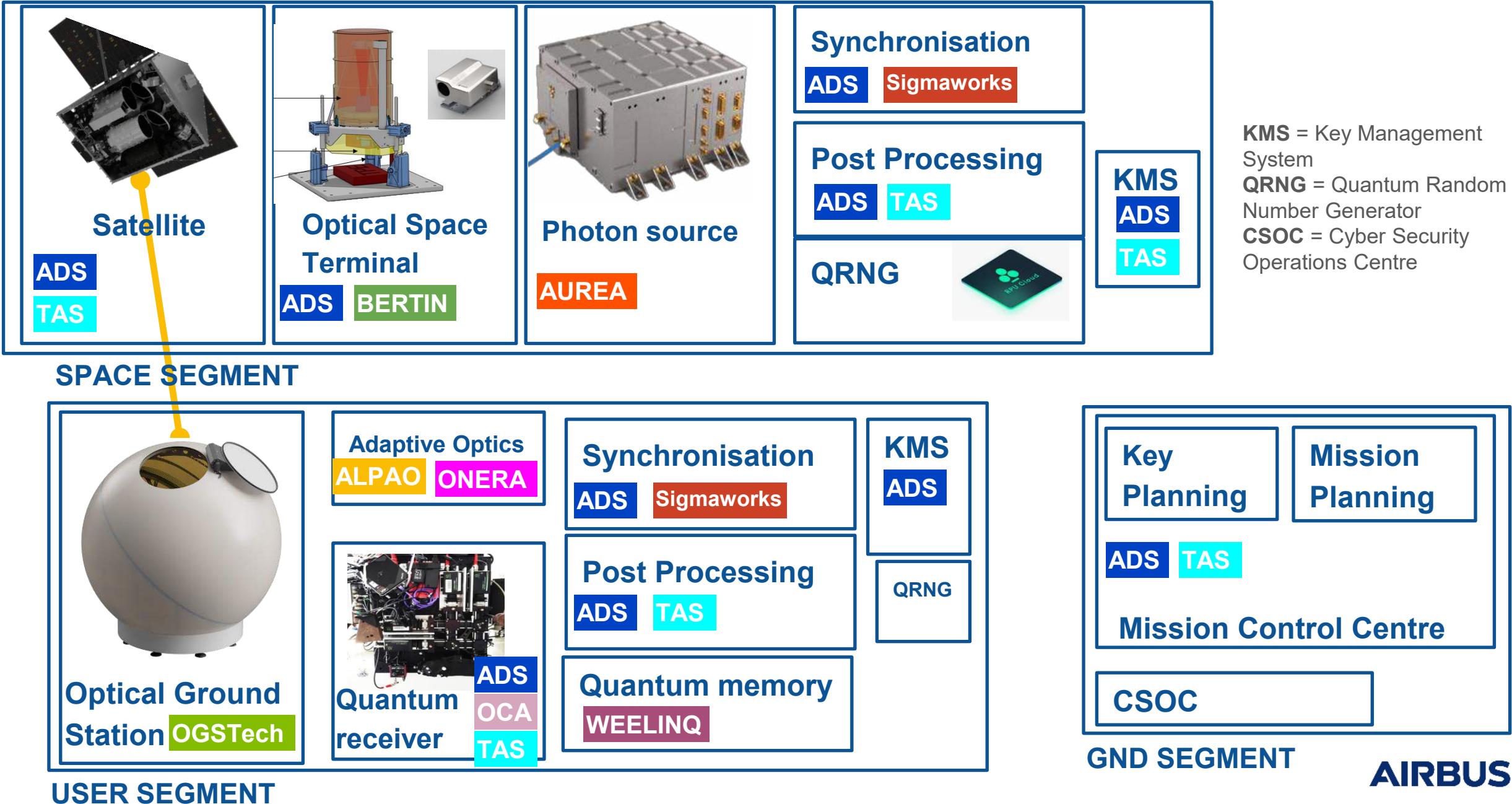
- Space dynamics
- All environmental factors
- Ground Station locations
- Ground station key demand
- Cloud cover
- Contention

X 0.05

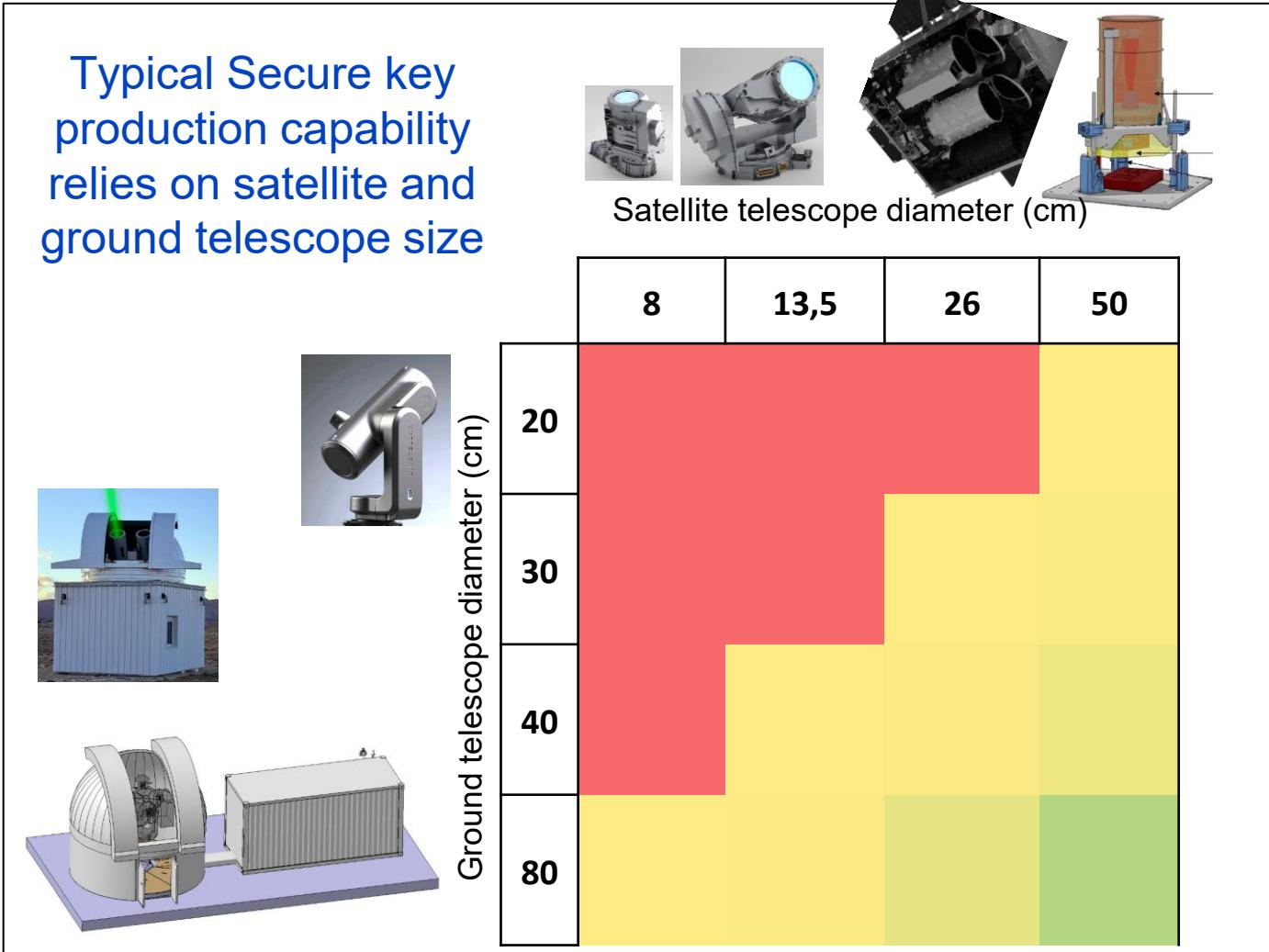
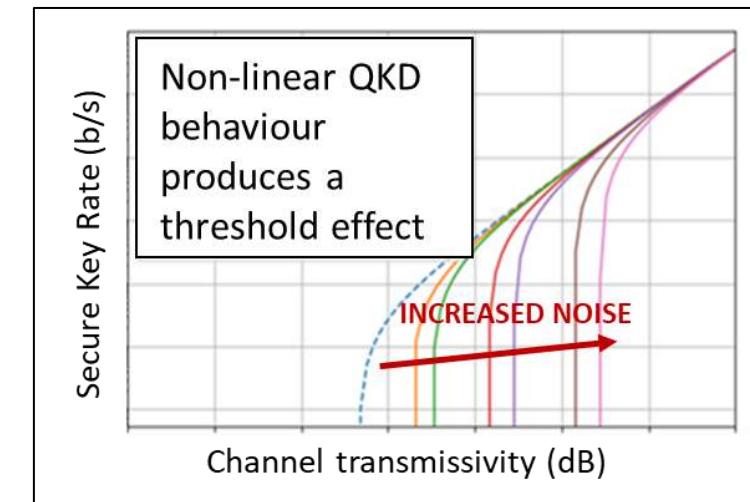
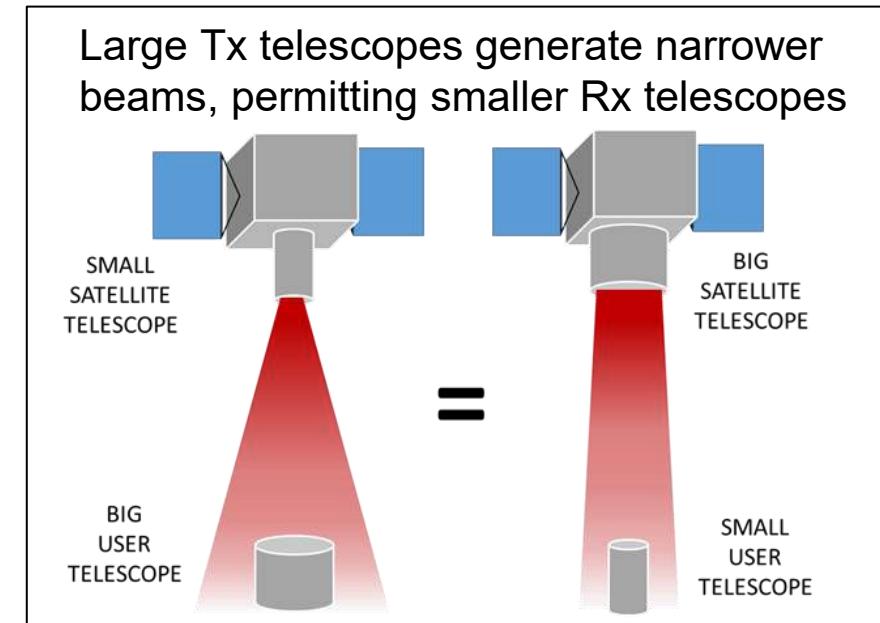
Huge impact going from link level to system level

NEED TO COMPENSATE WITH A HIGH CAPACITY SATELLITE

Space Quantum Communications Building Blocks



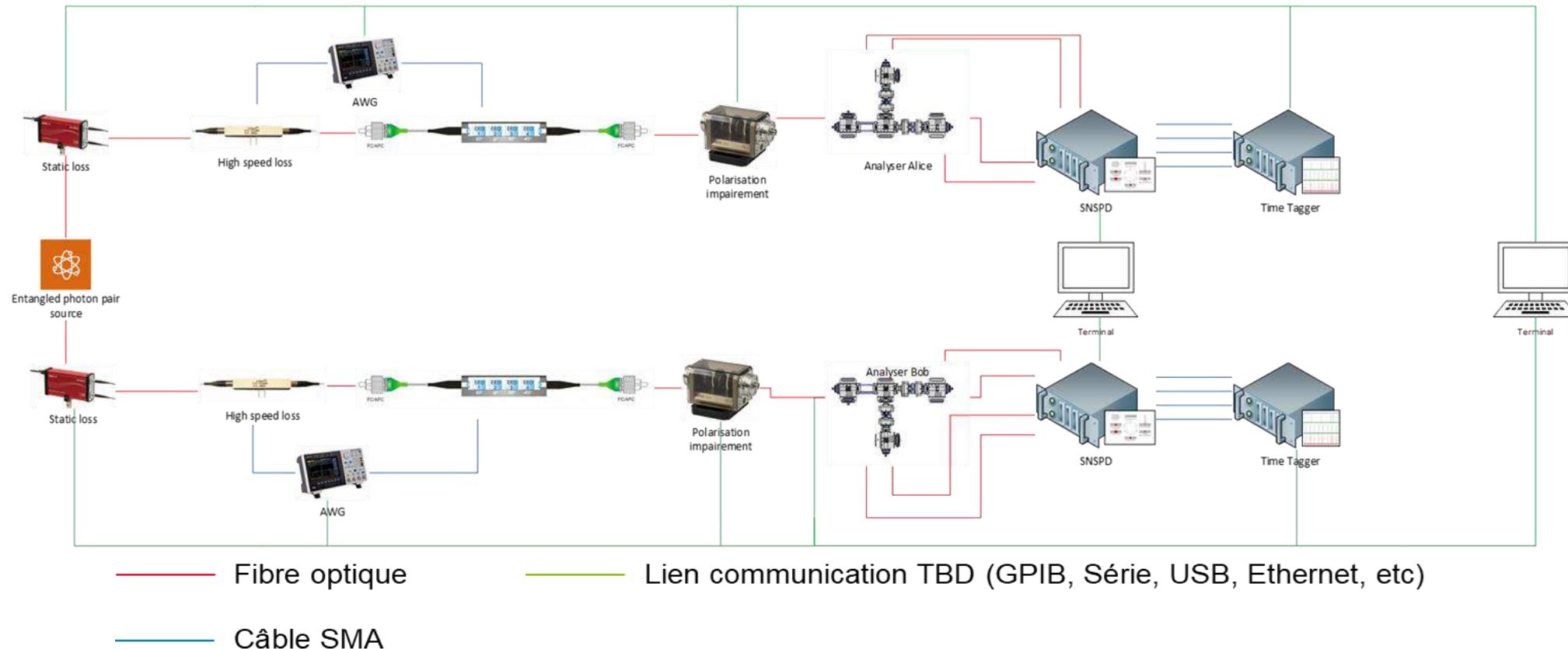
QUANTUM COMMUNICATION – FOCUS ON FREE SPACE DRIVERS



Satellite to ground quantum link testbed

PAGE 17

Full testbed architecture



Quantum Communication Satellite for QIN

PAGE 18

