

Chapitre 5: Radiocommunication spatiale

Introduction

La communication entre 2 points peut se réaliser grâce à différents supports:

❑ Liaison par câble (Bifilaire ou Coaxial)



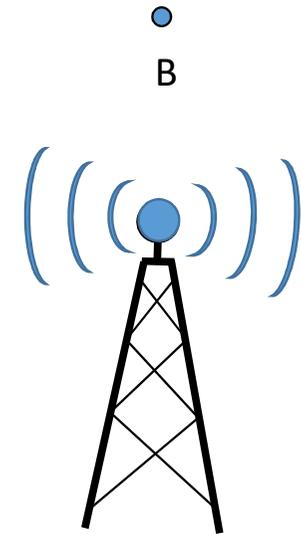
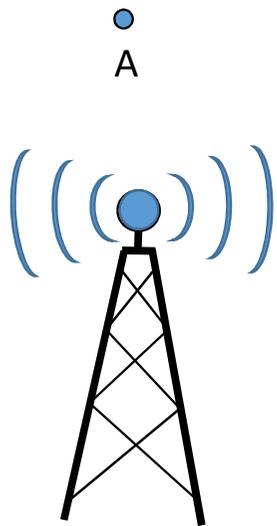
- **Exemple d'utilisation:** téléphonie, internet ADSL, câbles sous marins,
- **Inconvénient :** Difficulté et coût de pose dans le cas de type d'installation maritime, ainsi la nécessité de grand nombre de répéteurs pour une transmission à grande distance ...

❑ Liaison par fibre optique: Elle remplace le câble bifilaire pour les liaisons intercontinentales, nationales et internationales haut débit.

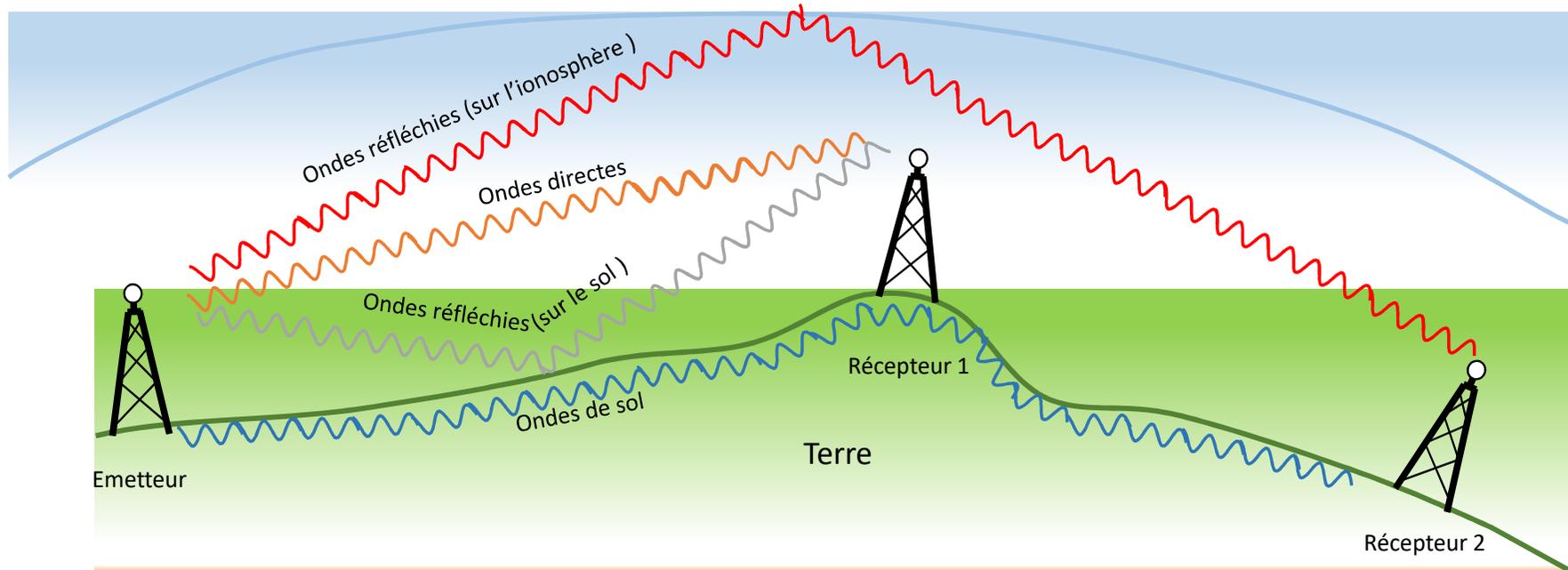


- **Exemple :** Réseau FTTH, ...
- **Inconvénient :** Fragilité qui nécessite une protection par enveloppement dans une gaine en plastique,...

- ❑ **Liaison par Faisceau Hertzien (radioélectrique):** est irremplaçables dans les cas difficiles (câbles inexistant, distances importantes,.....).

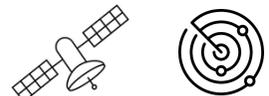


- ❑ **Modes de propagation des Faisceaux Hertziens :** Lorsque on effectue une transmission entre un émetteur et un récepteur , le récepteur reçoit 4 modes d'onde :

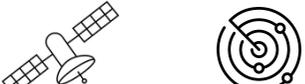


❑ **Spectre Electromagnétique** : les différentes formes des ondes EM caractérisées par la longueur d'onde λ et la fréquence f , le tableau suivant rassemble les différents types des ondes électromagnétiques .

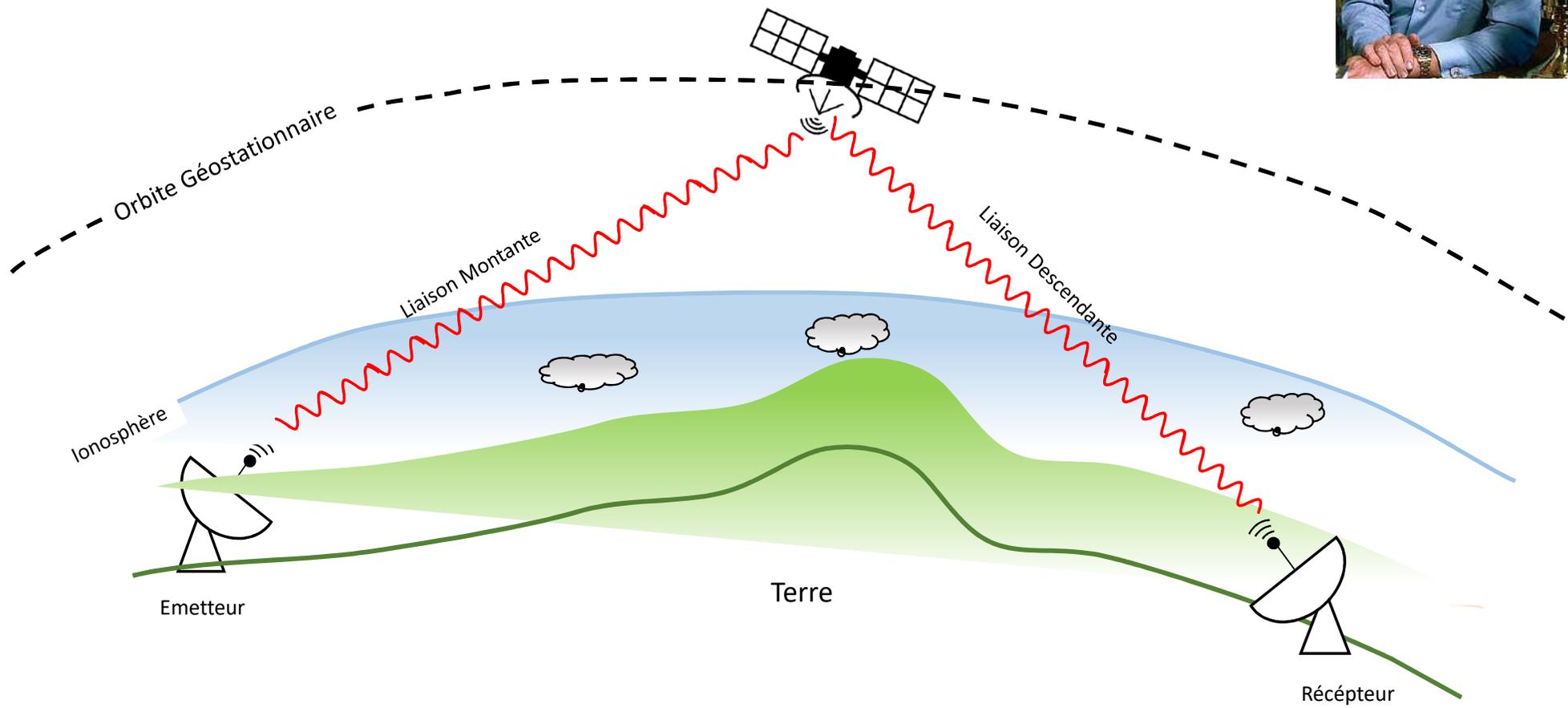
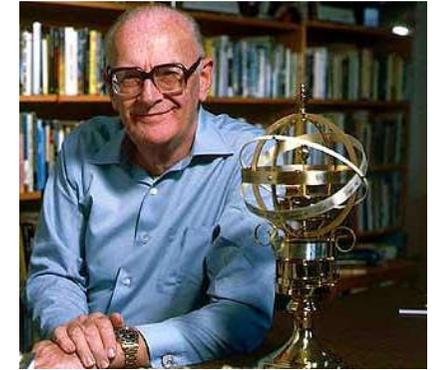
Types d'onde EM	Fréquence f [Hz]	Longueur d'onde λ [m]
Onde radio	$3 \rightarrow 300 \times 10^6$	$1 \rightarrow 10^8$
Microonde	$300 \times 10^6 \rightarrow 300 \times 10^9$	$10^{-3} \rightarrow 1$
Infra rouge	$300 \times 10^9 \rightarrow 385 \times 10^{12}$	$780 \times 10^{-9} \rightarrow 10^{-3}$
Lumière visible	$385 \times 10^{12} \rightarrow 790 \times 10^{12}$	$380 \times 10^{-9} \rightarrow 780 \times 10^{-9}$
Ultraviolets	$790 \times 10^{12} \rightarrow 30 \times 10^{15}$	$10 \times 10^{-9} \rightarrow 380 \times 10^{-9}$
Rayon x	$30 \times 10^{15} \rightarrow 30 \times 10^{18}$	$10 \times 10^{-12} \rightarrow 10 \times 10^{-9}$
Rayon gamma	$> 30 \times 10^{18}$	$> 10 \times 10^{-12}$

300 kHz	
MF: Moyenne Fréquence	
3 MHz	
HF: Hautes Fréquence	
30 MHz	
VHF: très Haute Fréquence	
300 MHz	
UHF: Ultra Haute Fréquence	
3 GHz	
SHF: Super Haute Fréquence	
30 GHz	
EHF	
300 GHz	

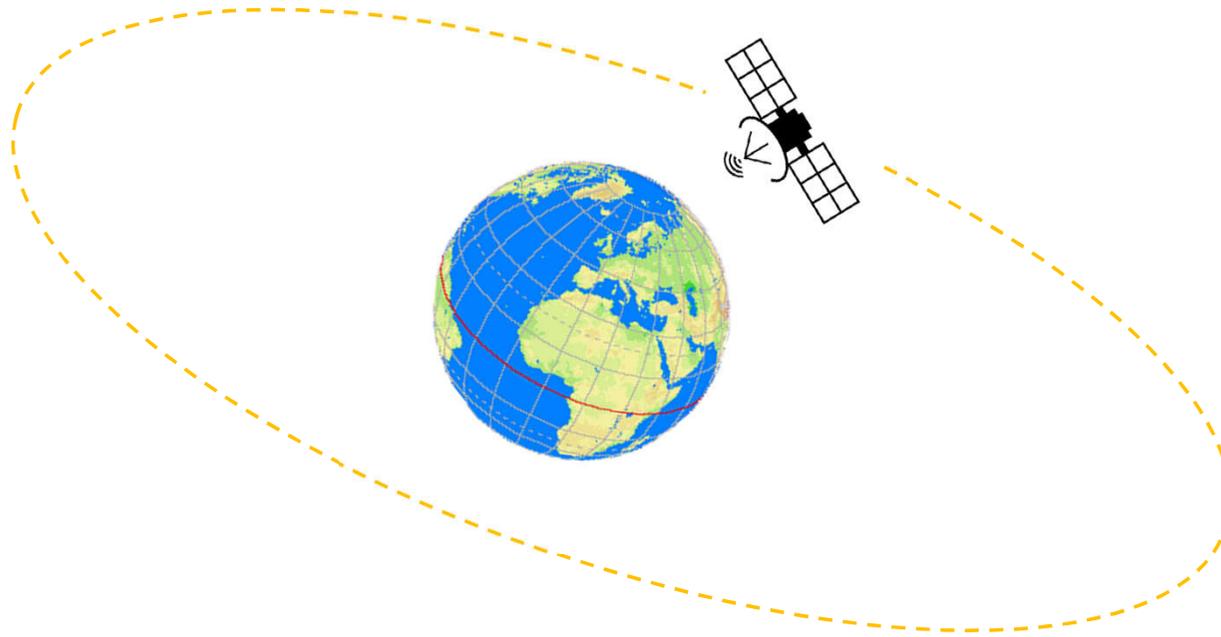
❑ les principaux modes de propagation en fonction de la fréquence .

Fréquence	Modes de propagation
<p>300 kHz</p> <p>MF: Moyenne Fréquence</p> 	<p>La propagation se fait par <u>l'onde de sol</u></p>
<p>3 MHz</p> <p>HF: Hautes Fréquence</p> 	<p>La propagation se fait par l'onde réfléchie sur ionosphère , mais <u>l'onde réfléchie sur le sol</u> et <u>l'onde directe</u> existent aussi .</p>
<p>30 MHz</p> <p>VHF: très Haute Fréquence</p> 	<p>La propagation se fait par <u>l'onde directe</u> , mais aussi</p>
<p>300 MHz</p> <p>UHF: Ultra Haute Fréquence</p> 	<p>par <u>l'onde réfléchie sur le sol</u> (problème de trajets multiples).</p>
<p>3 GHz</p> <p>SHF: Super Haute Fréquence</p> 	
<p>30 GHz</p> <p>EHF</p>	
<p>300 GHz</p>	

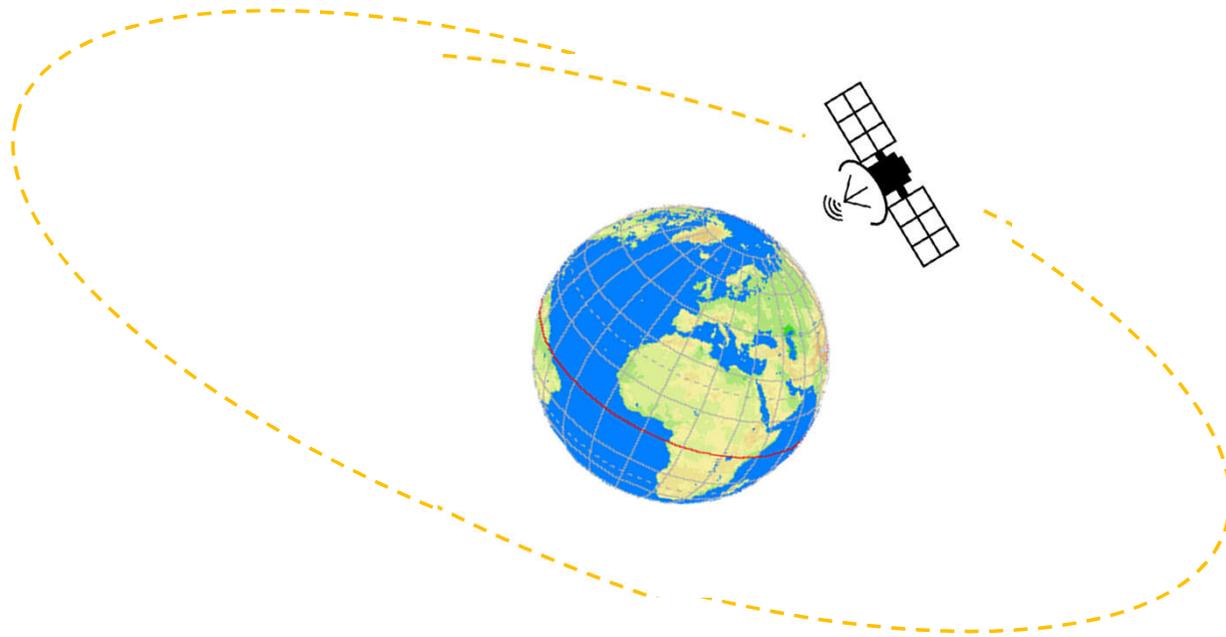
- ❑ **Liaison par satellite** : L'utilisation de satellite pour transmettre les faisceaux hertziens est l'idée de l'expert britannique « **Arthur C.clarke** » en **1945**, sa proposition consiste de mettre un satellite sur l'orbite géostationnaire (ou orbite de clarke) comme relais hertzien.



- **L'orbite géostationnaire:** abrégée **GEO** (geostationary orbit) est une orbite circulaire autour de la Terre caractérisée par une inclinaison orbitale nulle (donc une orbite dans le plan équatorial).
- La période orbitale (durée d'une orbite) égale à la période de rotation de la Terre (23 heures 56 minutes et 4 secondes \approx **24 heures**).
- Un satellite placé sur une orbite géostationnaire reste en permanence au-dessus du même point de l'équateur (paraît fixe depuis la terre).



- **L'orbite géostationnaire** permet de 42% de couverture de la terre , mais pas de couverture des pôles .



- **L'orbite géostationnaire** autour de la Terre se situe à une altitude de 35 786 km, on parle couramment de satellites à **36 000 km**

- Le premier satellite dans l'espace est lancé par les russes en 4 octobre 1957 « Sputnik 1 »



- Puis les américains en 31 janvier 1958 par le satellite « Explorer 1 »



- En 1964 c'est le début de l'exploitation commerciale de télécommunication par satellite « Intelsat ».



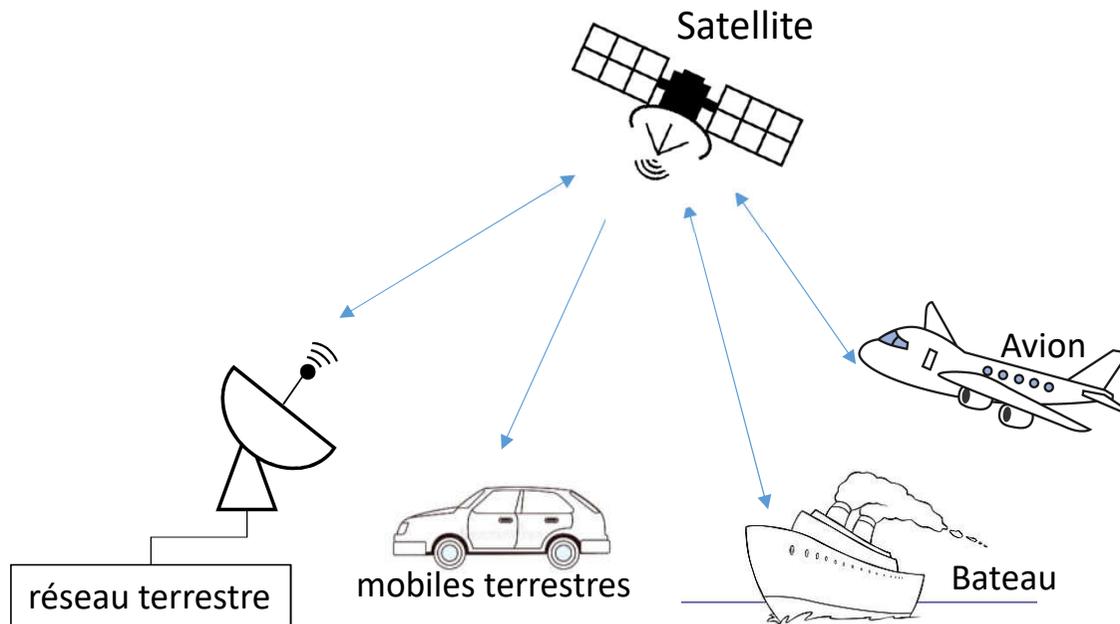
- Selon l'association UCS (Union of Concerned Scientists), 2.063 satellites opérationnels étaient en orbite autour de la Terre au 1er avril 2019.



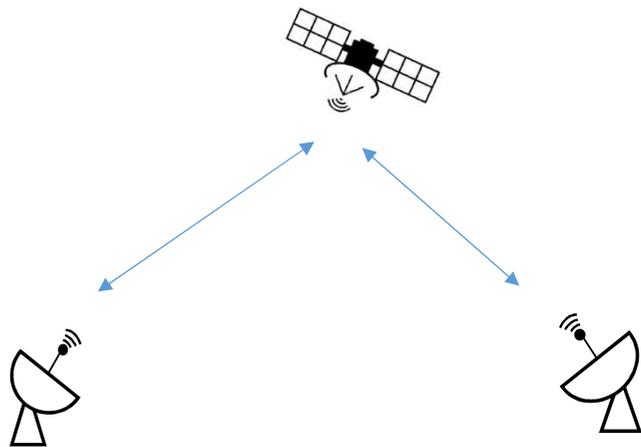
1.2. Stations terrienne et spatiale

1.2.1 Systèmes de communication par satellite

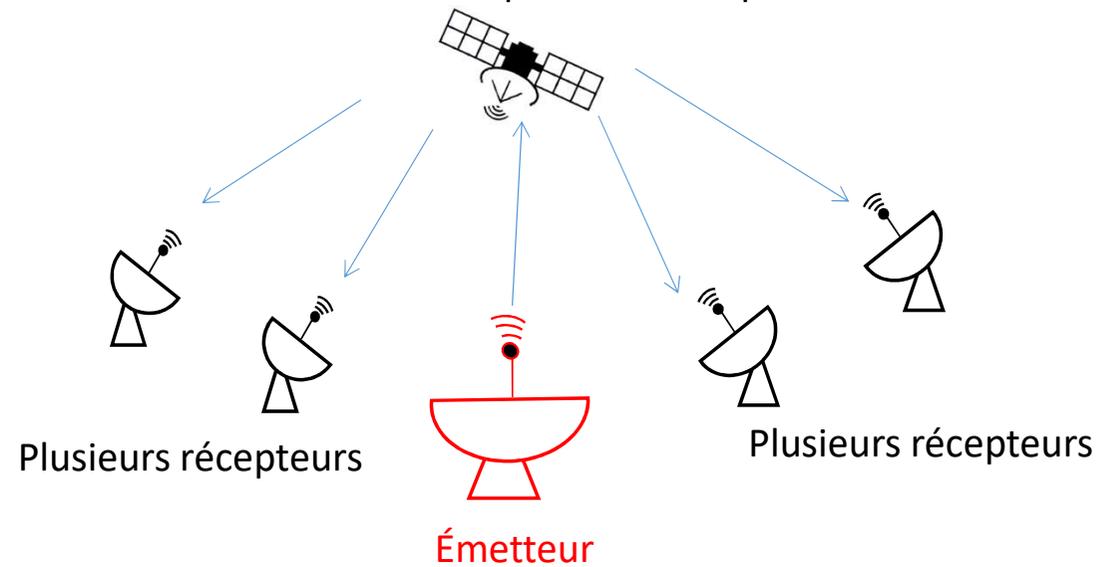
- ❑ Le monde d'aujourd'hui est connecté par un vaste réseau de communication qui fournit un large éventail de services voix, données et vidéo aux terminaux fixes et mobiles.
- ❑ L'efficacité du réseau est attribuée dans une large mesure à l'utilisation de systèmes de satellites en orbite qui fonctionnent comme des stations relais avec une large couverture de la surface de la Terre.



- ❑ Essentiellement, un satellite de communication est une station relais micro-ondes utilisée pour relier deux ou plusieurs émetteurs et récepteurs au sol.
- ❑ Le satellite reçoit des signaux à une fréquence, les répète ou les amplifie et les transmet à une autre fréquence.
- ❑ Deux modes de fonctionnement courants pour les communications par satellite:
 - Une liaison point à point
 - Plusieurs liaisons entre un émetteur au sol et plusieurs récepteurs au sol

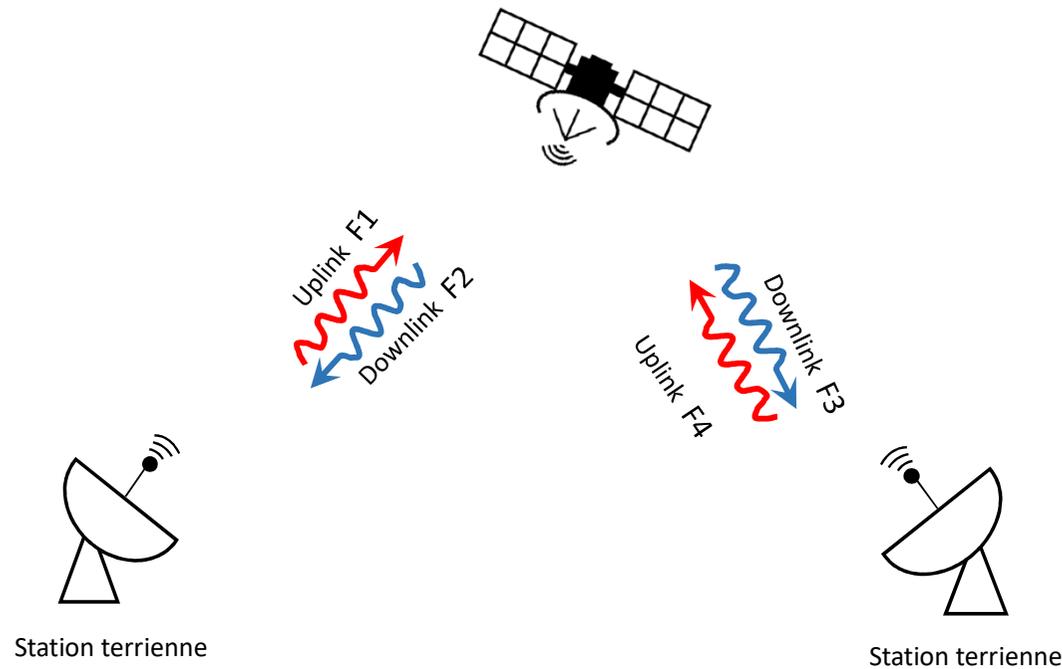


liaison point à point



Liaison de diffusion

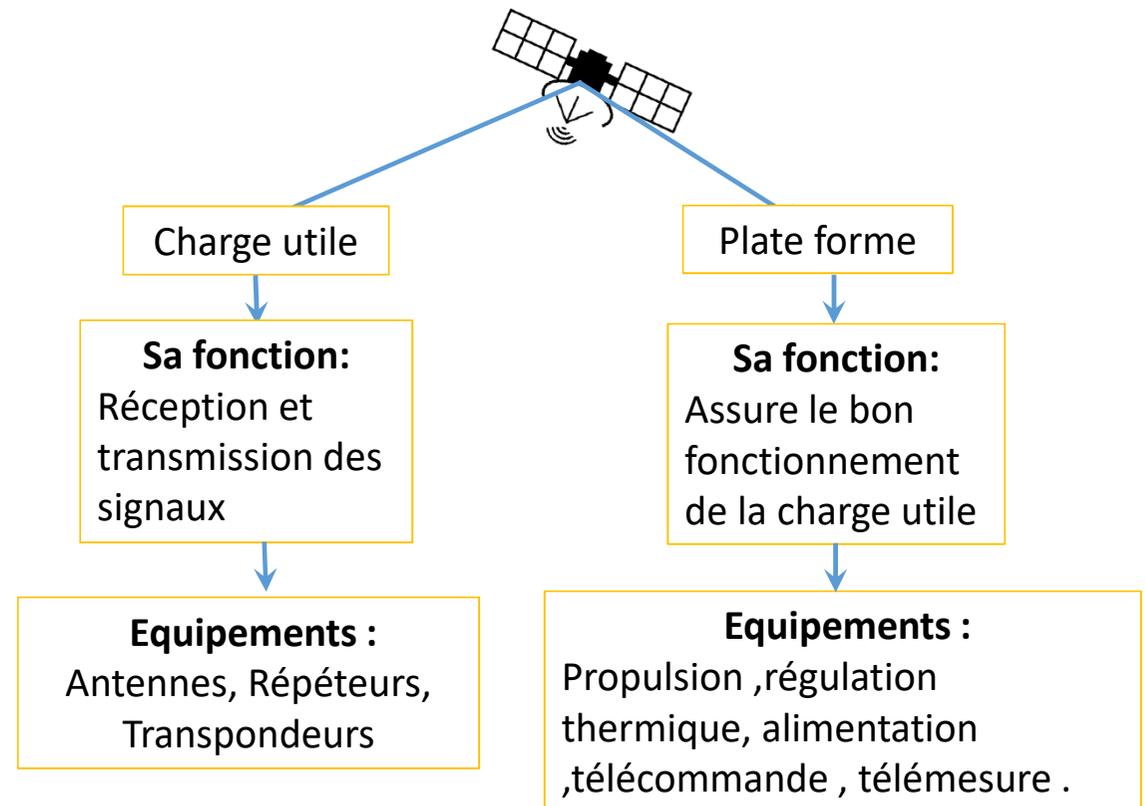
- **Mode duplex** : chaque station terrienne possède un faisceau hertzien montant (uplink) et un faisceau hertzien descendant (downlink). Exemple: Téléphone mobile par satellite .



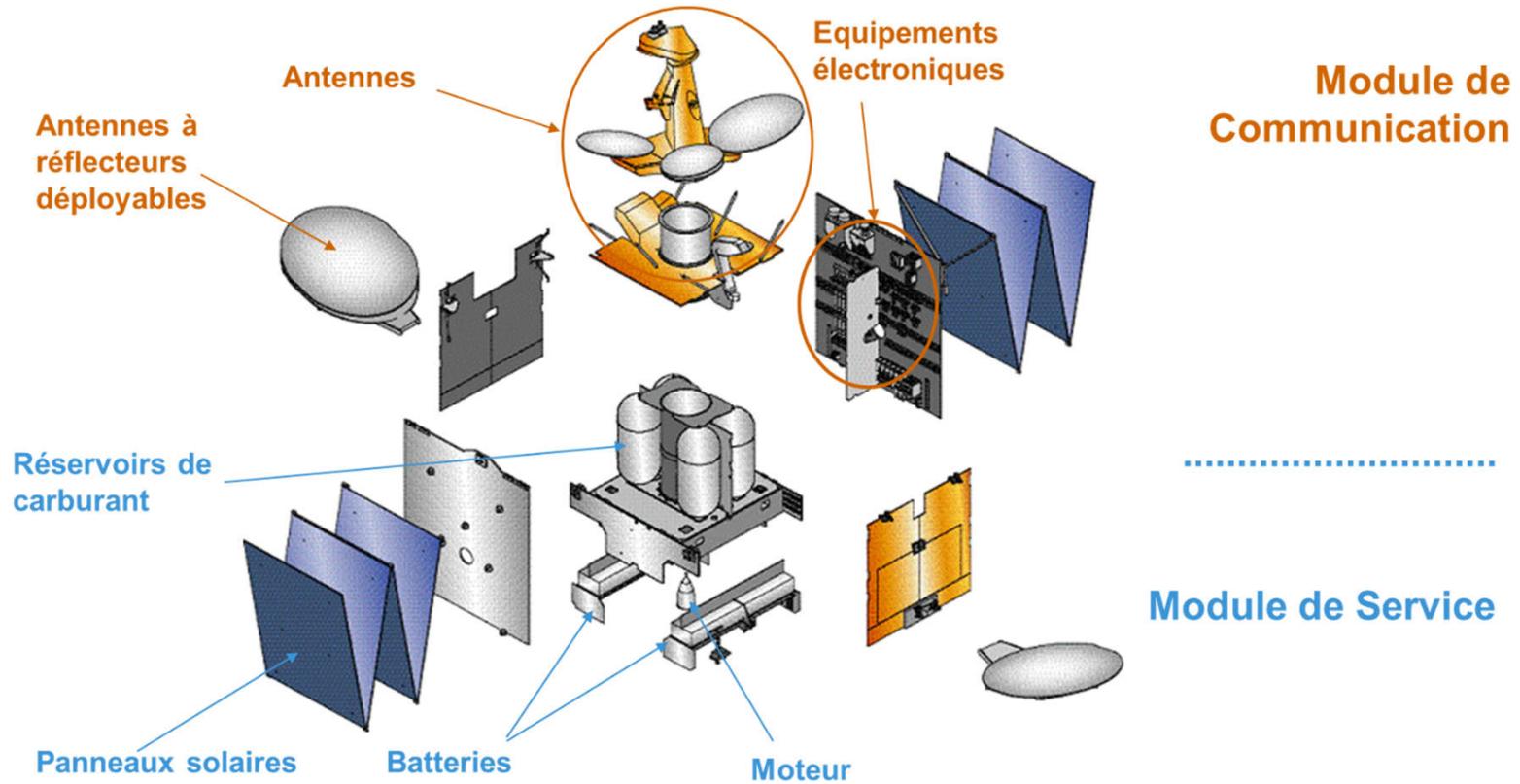
NB: il est possible de réduire le nombre de paires de fréquences, $F1=F4$ et $F2=F3$, c.à.d. le satellite émet sur une seule fréquence $F2$ et reçoit sur seule fréquence $F1$.

Composition de satellite: L'architecture du satellite résulte des objectifs définis par la mission et des contraintes particulières liées à son évolution dans l'Espace. Tout satellite possède :

- Une **charge utile** (par exemple un module de communication pour les satellites de télécommunication), constituée par les instruments liés aux objectifs de la mission
- Une **plateforme** de service (ou module de service) comportant tout ce qui est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des instruments pendant la durée de vie prévue **mission par satellites**



❑ Composition de satellite :



1.2.1 Systèmes de communication par satellite

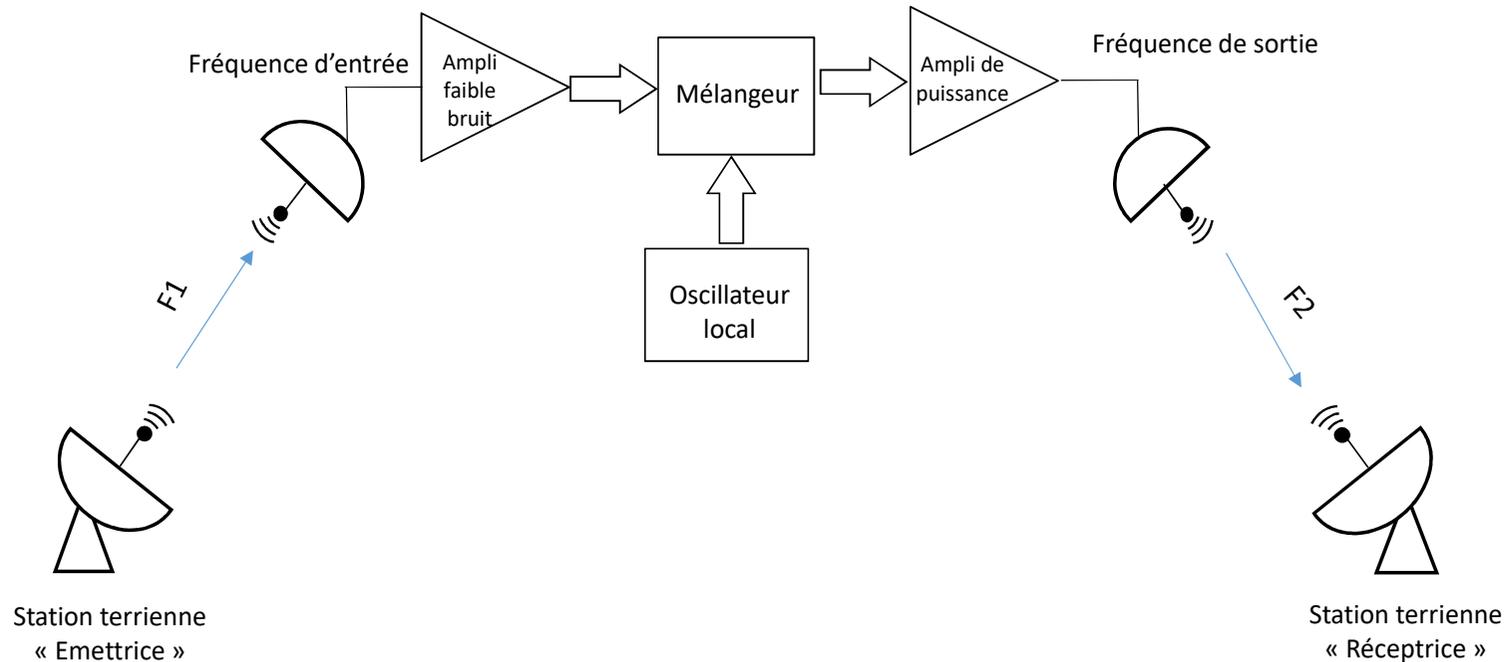
- les différentes catégories des satellites sur la base de la masse sont données par le tableau suivant :

Classe de satellite	Masse [kg]
Femtosatellite	$10^{-3} \rightarrow 10^{-1}$
Picosatellite	$10^{-1} \rightarrow 1$
Nanosatellite	$1 \rightarrow 10$
Microsatellite	$10 \rightarrow 10^2$
Minisatellite	$10^2 \rightarrow 10^3$
Largesatellite	$\geq 10^3$

1.2.2 Transpondeurs satellites (répéteurs)

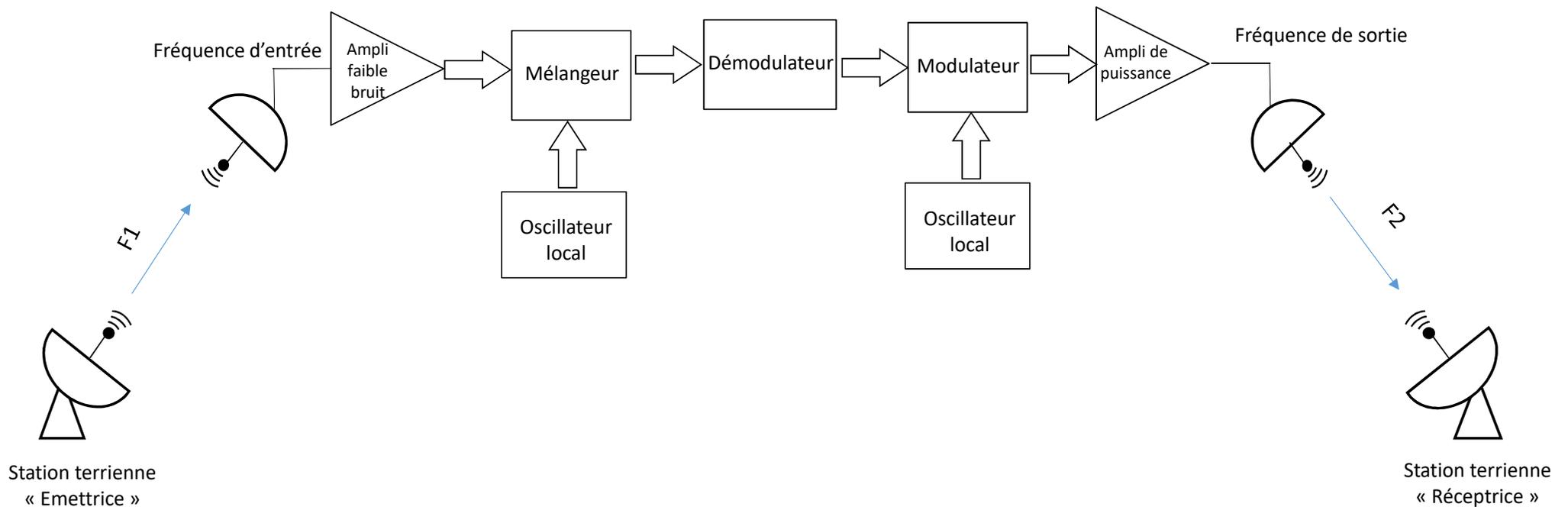
Un satellite de communication fonctionne comme un **répéteur** distant ; il reçoit les signaux de liaison montante des stations terriennes, traite les signaux, puis les redirige (retransmet) vers leurs destinations terrestres prévues.

- **Répéteur transparent** : il change la fréquence du signal et l'amplifié.

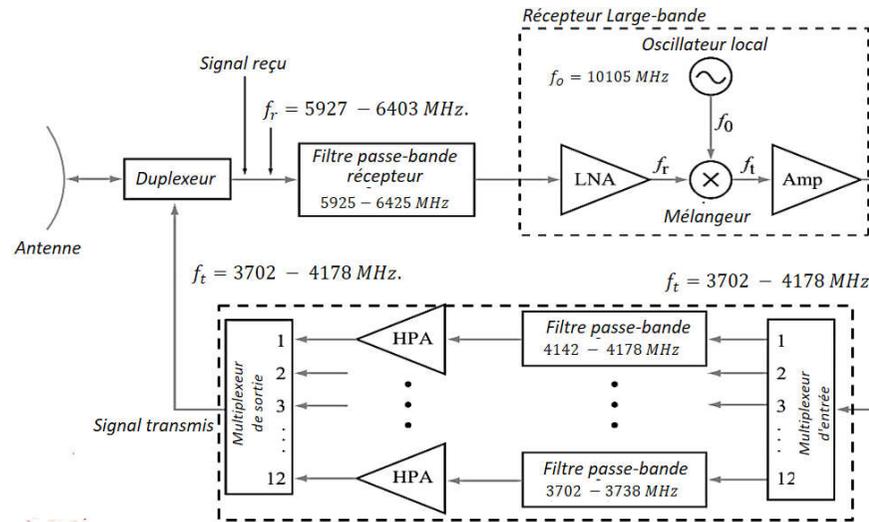


Un satellite de communication fonctionne comme un **répéteur** distant ; il reçoit les signaux de liaison montante des stations terrestres, traite les signaux, puis les redirige (retransmet) vers leurs destinations terrestres prévues.

- **Répéteur régénératif** : il fait les tâches suivantes: conversion de fréquence, démodulation , re-modulation et amplification.



- Nous utiliserons la bande 4/6 GHz comme modèle pour expliquer le fonctionnement du répéteur satellite.
- La bande 4/6 GHz (3,702 à 4,178 GHz en liaison descendante et 5,927 à 6,403 GHz en liaison montante)
- Chaque segment de liaison montante et descendante a une bande passante de 500 MHz.
- Cette figure montre un schéma fonctionnel généralisé d'un répéteur typique à 12 canaux d'une bande passante de 36 MHz par canal et d'une séparation de 4 MHz entre les canaux..



❑ *Fonctionnement du répéteur satellite*

- Le chemin de chaque canal - depuis le point de réception par l'antenne, le transfert via le répéteur et la retransmission finale via l'antenne - est appelé transpondeur.
- Les fonctions de base d'un transpondeur sont :
 - 1) l'isolation des canaux de radiofréquence (RF) voisins,
 - 2) la translation de fréquence et
 - 3) l'amplification
- La bande passante disponible de 500 MHz est allouée à 12 canaux (transpondeurs) d'une bande passante de 36 MHz par canal et d'une séparation de 4 MHz entre les canaux.
- Avec l'accès multiple par répartition en fréquence (**FDMA**), chaque transpondeur, dans sa bande passante de 36 MHz, peut prendre en charge :
 - 1)des milliers** de canaux téléphoniques individuels (les signaux vocaux téléphoniques nécessitent une bande passante minimale de 3 kHz, donc la fréquence l'espacement est nominalement de 4 kHz par canal téléphonique),
 - 2)plusieurs canaux** de télévision (chacun nécessitant une bande passante de 6 MHz),
 - 3)des millions** de bits de données numériques
 - 4)ou des combinaisons des trois.

❑ **Fonctionnement du répéteur satellite**

- La capacité de transport d'informations d'un répéteur satellite peut être **doublée de 12 à 24** canaux sur la même bande passante de 500 MHz en utilisant la diversité de polarisation
- Au lieu de transmettre un canal d'informations sur le canal 1 (5 927 à 5 963 MHz), par exemple, la station au sol transmet au satellite deux signaux porteurs d'informations différentes et couvrant la même bande de fréquence, mais avec des configurations de **polarisation d'antenne différentes**, telles que polarisation circulaire à droite (RHC) et circulaire à gauche (LHC).
- L'antenne satellite est équipée d'un dispositif d'alimentation qui peut recevoir chacun des deux signaux de polarisation circulaire individuellement avec une interférence négligeable entre eux.
- Deux duplexeurs sont utilisés dans ce cas, l'un connecté à l'alimentation de polarisation du RHC et l'autre connecté à l'alimentation de polarisation du LHC, comme illustré sur la Figure ci-contre.

