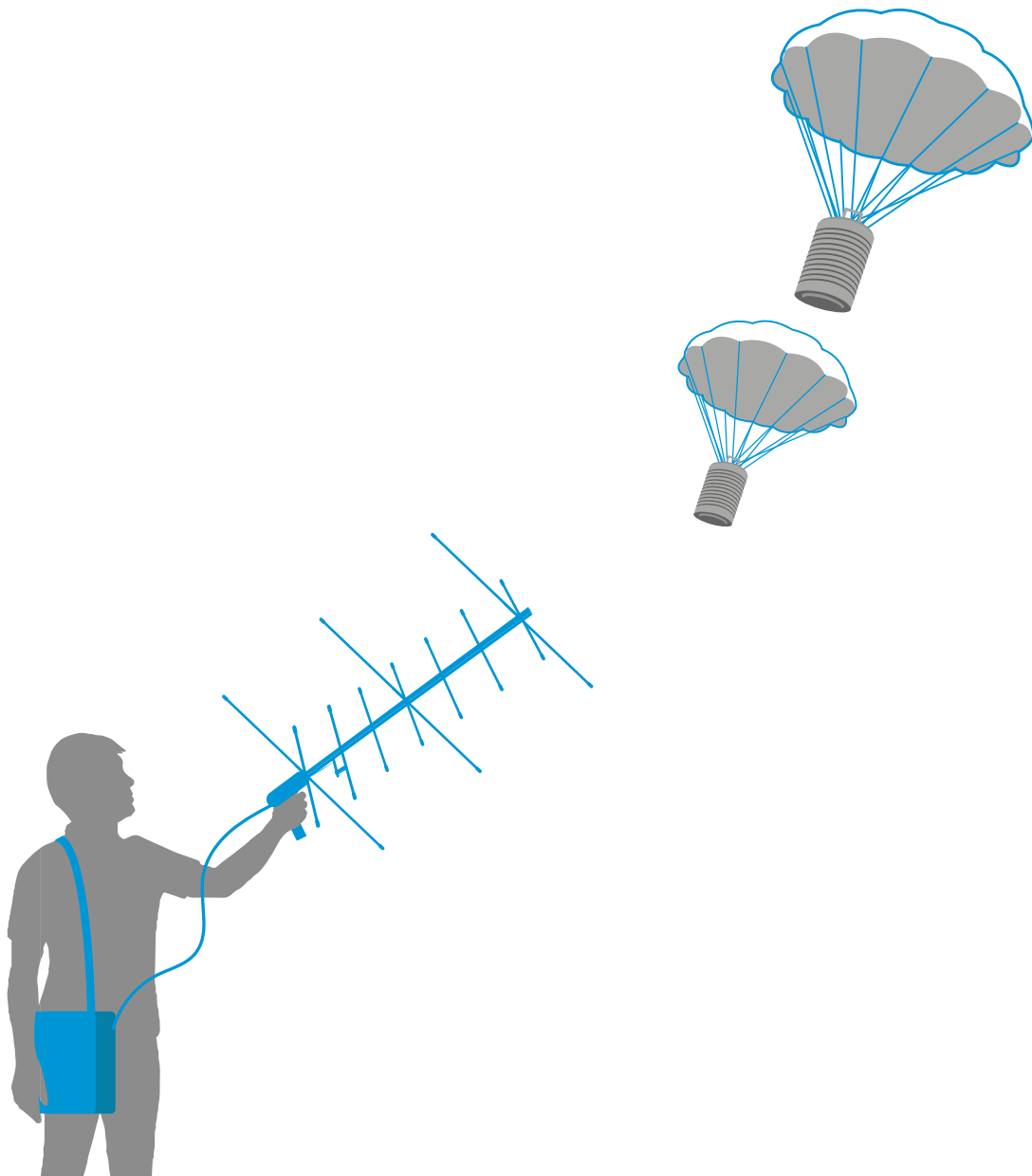
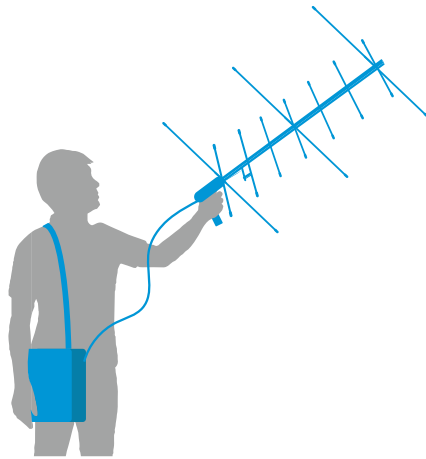


# teach with space

## → Communiquer par Radio

Houston, répondez.





## GUIDE DU PROFESSEUR

Éléments clés	page 3
Résumé des activités	page 4
Activité 1: Notions de base sur les ondes radio	page 6
Activité 2: Les ondes radio dans les satellites	page 6
Activité 3: Choisir la bonne fréquence	page 6
Activité 4: AM ou FM?	page 7
Activité 5: Recevoir vos données	page 8
Activité 6: Testeur de la communication	page 8
FICHE ELEVE	page 9

### teach with space – Communiquer par radio | T11

[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education) (EN)

[www.esero.fr](http://www.esero.fr) ou <https://www.planete-sciences.org/espace/CanSat/CanSat-Lycee> (FR)

**Vos commentaires et retours d'expérience sont les bienvenus, contacter :**

ESA Education à [cansat@esa.int](mailto:cansat@esa.int)

ESERO France à [esero.france@cnes.fr](mailto:esero.france@cnes.fr)

Planète Sciences sur [clubs-espace@planete-sciences.org](mailto:clubs-espace@planete-sciences.org)

Une production ESA Education

en collaboration avec ESERO Irlande et ESERO Belgique

traduite et adaptée en français par ESERO France

Copyright 2017 © European Space Agency

Copyright 2020 © ESERO France, CNES, Planète Sciences

# → Communiquez par radio

## Houston, répondez

### Informations clés

**Tranche d'âge:** 14-20 ans

**Liens avec le programme scolaire:** Physique, électronique

**Complexité:** Moyen

**Temps de cours requis:** 120 minutes

**Localisation:** À l'intérieur

**Ressources de soutien:** Débuter avec un CanSat

**Coût:** Environ 30 euros

**Mots-clés:** Radio, Communication, Longueur d'onde, Fréquence, Spectre, CanSat

### Résumé

Pour comprendre comment fonctionnent des appareils comme les téléphones portables, les routeurs et les satellites, nous devons comprendre ce que sont les ondes radio et comment nous pouvons transmettre des informations avec elles. La communication radio est l'un des éléments clés de notre CanSat. Toutes les données nécessaires à notre expérience scientifique seront envoyées du CanSat à notre station au sol par le biais d'ondes radio une fois que le CanSat sera lancé.

### Objectifs d'apprentissage

- ✓ Comprendre les notions de base sur les ondes et le spectre électromagnétique.
- ✓ Comprendre comment fonctionne la modulation et pourquoi il est nécessaire de transmettre des informations.
- ✓ Comprendre l'importance de la fréquence et de la longueur d'onde dans la propagation des ondes radio
- ✓ Pouvoir identifier les éléments nécessaires dans un processus de communication.
- ✓ Pouvoir distinguer les protocoles de communication
- ✓ Pouvoir fabriquer leur propre antenne et les utiliser pour recevoir des informations.

## Résumé des activités

Résumé des activités					
	Titre	Description	Résultat	Exigences	Temps
1	Fondamentaux des ondes radios	Instructions pour les ondes radios et leur place dans le spectre électromagnétique (EM)	Les élèves comprendront l'importance des deux propriétés clés d'une onde: la fréquence et la longueur d'onde.	Aucune	10 minutes
2	Les ondes radio dans les satellites et la communication	Aperçu de la manière dont les ondes radio sont utilisées dans les systèmes de communication	Les élèves pourront apprécier la largeur des domaines d'utilisation des ondes radios	Activités précédentes	10 minutes
3	Choisir la fréquence idéale	L'importance de la bande passante et sa dépendance sur la fréquence sont discutées.	Les élèves devront suggérer quelle fréquence doit être utilisée pour des activités simples	Activités précédentes	15 minutes
4	AM ou FM?	Les termes AM et FM sont introduits, et l'importance de la modulation radio est discutée	Les élèves seront capables d'expliquer les modulations par des analogies	Activités précédentes	10 minutes
5	Recevoir vos données	Les antennes sont introduites ainsi que leur rôle dans les communications	Les élèves peuvent décrire les principes de fonctionnement d'une antenne.	Activités précédentes	20 minutes
6	Tester votre communication	Instructions sur la manière d'écrire un code pour tester la communication	Les élèves seront capables de tester et de faire une démonstration de communication radio en utilisant le code écrit	Activités précédentes	55 minutes

## Présentation

Dans cette ressource, les élèves étudient comment les ondes radio sont utilisées dans les systèmes de communication et comprennent en quoi elles peuvent être utiles pour un projet CanSat. Auparavant, ils apprendront à connaître les caractéristiques importantes d'une onde radio et la place des ondes radio dans le spectre électromagnétique. Ils apprendront également les différents types d'ondes radio et comment chaque type a ses propres fonctions et utilisations avant d'utiliser finalement un module radio pour recevoir des données de leur CanSat.

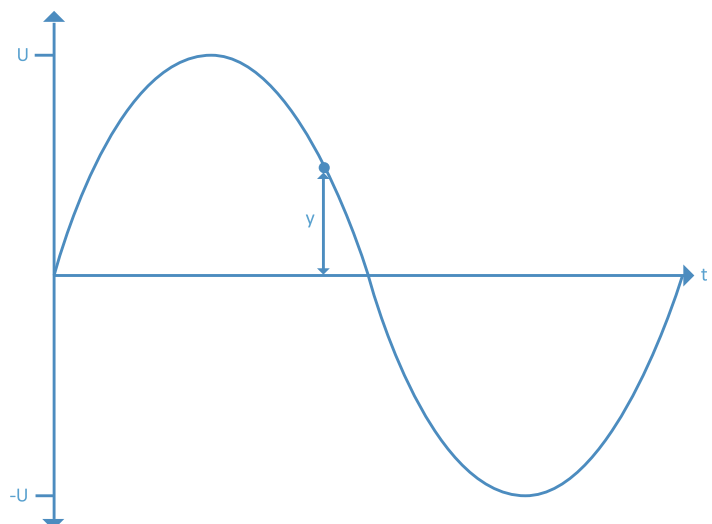
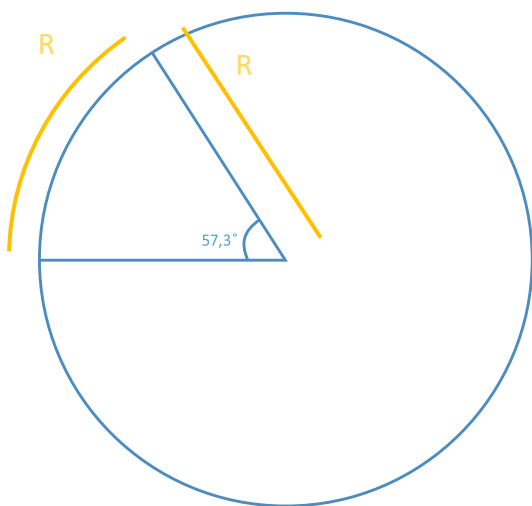
## Contexte : Les ondes, une approche mathématique

La forme la plus fondamentale de toute onde est une courbe sinusoïdale d'amplitude constante A et de fréquence unique f. Le "déplacement" de l'onde (y) après un temps t, est donc:

$$y = A * \sin(2 * \pi * f * t)$$

Le terme  $2 * \pi$  résulte de la présence de  $2 * \pi$  radians dans un "cycle" d'une onde sinusoïdale. Les radians correspondant à une mesure d'angle, environ 57 degrés, et plus précisément l'angle pour lequel la longueur d'arc est égale au rayon. Le temps (t) a des unités de secondes. Pour une onde donnée,  $2\pi f$  et A sont des constantes. Par conséquent, en utilisant l'équation ci-dessus, il est trivial de déterminer le déplacement (y) à un moment donné dans le temps.

Les deux schémas ci-dessous peuvent vous aider à visualiser un peu plus facilement.



## → GUIDE PROFESSEUR

### Activité 1 : Notions de base sur les ondes radio

Dans cette activité, les élèves sont initiés aux ondes radio et à leur place dans le spectre électromagnétique. Les propriétés de base d'une onde sont décrites : longueur d'onde et fréquence.

#### Exercice

Les élèves sont invités à remplir un tableau d'informations sur les ondes radio. Ils peuvent prendre des estimations des fréquences à partir du tableau de l'activité (figure A1), ou en les calculant à partir des valeurs de longueur d'onde de données dans le texte. Les valeurs données ci-dessous sont approximatives et ne doivent être utilisées que pour donner une idée de l'éventail des valeurs possibles.

Tableau 1			
	Unités	Valeur minimale	Valeur maximale
Longueur d'onde	m	0,1	10's de kilomètres
La fréquence	Hz	$3 \times 10^4$	$3 \times 10^9$

## Activité 2 : Les ondes radio dans les satellites et les communications

Dans cette activité, les élèves sont initiés à la pertinence des ondes radio dans la communication et aux diverses utilisations de la gamme des ondes radio. Les élèves sont invités à déterminer les propriétés de plusieurs modules radio couramment utilisés pour le CanSat

### Exercice 1

1. Calculer la perte d'espace libre en décibels d'un émetteur CanSat typique (f de 433 MHz) au moment du déploiement du CanSat (1 km).

En utilisant l'équation de la feuille de travail de l'élève pour la perte d'espace libre, et en substituant les valeurs données pour f et R, la réponse est 85 décibels.

### Exercice 2

Les élèves sont invités à remplir un tableau d'informations sur les émetteurs CanSat.

Tableau 2			
Émetteur	Fréquence	Longueur d'onde / m	Bande
APC220	418 MHz-455 MHz	0,66 - 0,72	UHF
Lora	Plusieurs (par exemple 868 MHz)	0,35	UHF
X-Bee	2,4 GHz	0,13	UHF

## Activité 3 : Choisir la fréquence idéale

Dans cette activité, les élèves sont initiés à l'importance de la largeur de la bande et de la portée lors du choix d'une fréquence pour un appareil de communication. Plusieurs scénarios simples sont proposés pour ajouter un certain contexte.

### 1. Comme chaque fréquence a son utilité, réfléchissons aux bandes (basse / moyenne / hautes fréquences) que vous pourriez utiliser pour les transferts de données ci-dessous :

Envoi d'un signal SOS sur plusieurs kilomètres - basse fréquence

Diffusion d'images vidéo de votre CanSat vers une station au sol - haute fréquence

Envoi d'un message texte - moyenne fréquence

Les trois types de transferts de données s'émettent sur des plages différentes et nécessitent des taux de transfert de données différents. Premièrement, l'envoi d'un signal SOS sur plusieurs kilomètres : il s'agit d'une donnée simple à transmettre, mais sur une distance importante, donc une basse fréquence (longue longueur d'onde) est parfaite. Inversement, la diffusion de séquences vidéo d'un CanSat vers une station au sol nécessite un débit binaire beaucoup plus élevé, mais sur une distance beaucoup plus courte, de sorte qu'une fréquence plus élevée est préférée. Un message texte se situe entre ces deux extrêmes, et la fréquence moyenne est donc appropriée.

### 2. Si la "bande de fréquence idéale" se trouve dans la bande UHF, pourquoi les satellites utilisent-ils principalement la bande SHF?

Les fréquences SHF occupent une autre "bande de fréquence idéale" dans le spectre radioélectrique, car la petite longueur d'onde de ces ondes peut être dirigée dans des antennes à ouverture de faisceau étroit telles que les paraboles et les antennes à cornet ce qui ne serait pas possible avec des longueurs d'onde plus grandes (par exemple dans la bande UHF). Elles sont utilisées pour les communications point à point, les liaisons de données et les radars.

De plus, les fréquences SHF sont les plus élevées qui peuvent être utilisées pour les communications terrestres à longue distance ; en effet les fréquences encore plus élevées dans la bande EHF (ondes millimétriques) sont fortement absorbées par l'atmosphère, ce qui limite les distances de propagation pratiques à un kilomètre.

Les hautes fréquences SHF confèrent également aux liaisons de communication par micro-ondes une très grande capacité de transmission de l'information (largeur de bande).



## Activité 4: AM ou FM ?

Les concepts de AM et de FM sont définis et une explication de la "modulation" est donnée. Les élèves explorent une analogie simple pour les aider à comprendre ce qu'est la modulation.

### Exercice

#### 1. Pourquoi choisir des fréquences différentes pour chaque projet CanSat ?

Sans cette séparation des fréquences, il est probable que les équipes CanSat capteraient les interférences de la transmission d'une autre équipe - cela pourrait compromettre le succès de la mission!

## Activité 5 : Recevoir vos données

Dans cette activité, est expliqué le processus de communication dans le cadre du concours CanSat et les principes de base du fonctionnement des antennes sont discutés. En outre, les élèves acquièrent une compréhension plus approfondie des complexités des antennes. Les trois types d'antennes les plus couramment utilisés sont établis et leurs différences sont discutées.

### Exercice

#### 1. Quel type d'antenne choisiriez-vous pour votre station au sol et laquelle pour votre CanSat?

L'antenne à bord du CanSat doit être isotrope (ou autant que possible), ce qui signifie qu'elle transmet la même quantité de puissance dans toutes les directions. Les antennes monopôles sont deux fois plus petites que leurs homologues dipôles, et sont donc intéressantes lorsqu'une antenne plus petite est nécessaire.

L'antenne connectée à la station au sol peut être dirigée vers le CanSat, et elle peut être réalisée comme une antenne directionnelle à gain élevé, qui reçoit plus d'ondes électromagnétiques d'une direction qu'une autre.

#### 2. Pouvez-vous calculer la longueur que doit avoir une antenne quart d'onde pour recevoir un signal Wi-Fi de 2,4 GHz?

L'activité présente cette équation:

$$L = c / 4f = 3 \times 10^8 / (4 \times 2,4 \times 10^9) = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

## Activité 6 : Tester vos communications

Dans cette activité, les élèves utilisent un module radio Arduino et APC 220 pour effectuer un simple test de communication radio. Pour une meilleure compréhension, ils sont également mis au défi de comparer leurs résultats avec une antenne Yagi.

### Exercice

**1. À quelle distance votre partenaire peut-il aller avant que vous ne cessiez de recevoir un signal?**

Les résultats expérimentaux de cet exercice peuvent varier selon les élèves.

**2. Que pourriez-vous changer pour améliorer la portée?**

Il y a plusieurs aspects qui peuvent être modifiés afin d'améliorer la portée d'une transmission, ils comprennent :

- Augmenter la puissance de la transmission.
- Réduire la fréquence (augmenter la longueur d'onde). Cependant, les améliorations de la portée à partir d'une fréquence réduite ne sont observables qu'à une échelle macro. Il est peu probable que les élèves puissent observer des changements dans la plage de fonctionnement de leurs émetteurs-récepteurs.
- Assurer une ligne de vue propre entre l'émetteur et le récepteur. Remarque : ce phénomène est le plus facilement observé lorsque les obstacles sont plus grands, ou au moins comparables à la longueur d'onde de la transmission.
- Utilisation d'une transmission dirigée (antennes Yagi).

**3. Peut-on utiliser les mêmes antennes en émission et en réception ?**

Si les élèves essaient d'utiliser une antenne quart d'onde (*Canard*) pour à la fois transmettre et recevoir leurs données, ils constateront que la portée autorisée est réduite. Les antennes *Canard* sont omnidirectionnelles, de sorte que leur puissance de sortie dans n'importe quelle direction est inférieure à celle d'une antenne Yagi. Par conséquent, dans le concours CanSat, il est plus judicieux d'utiliser une antenne *Canard* à l'intérieur du CanSat et une antenne Yagi à la station au sol.

# → FICHE ELEVE

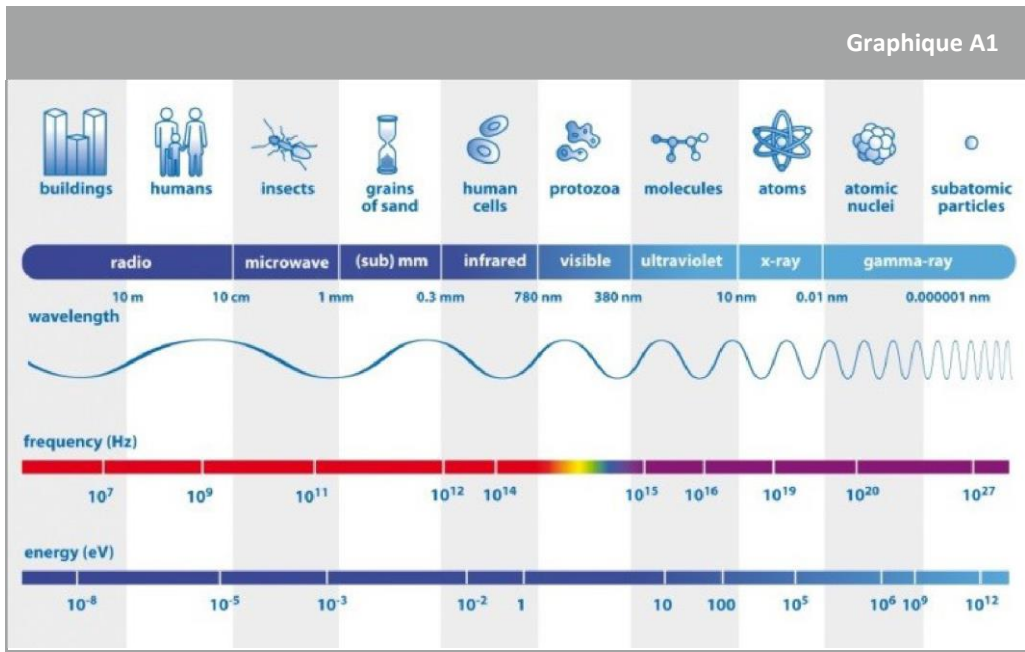
## Activité 1: Bases des ondes radio

Les ondes radio sont omniprésentes dans notre vie quotidienne, mais qu'entend-on par onde radio et en quoi les ondes radio sont-elles importantes pour votre mission CanSat? Une grande partie de notre communication quotidienne repose sur les ondes radio, peut-être des choses auxquelles vous ne vous attendez pas, comme le WiFi et le Bluetooth - pas seulement les autoradios! Nous explorerons ce que sont exactement les ondes radio et comment nous pouvons les utiliser pour communiquer avec nos CanSats.

### Qu'est-ce qu'une onde radio?

Dans tout type de communication, nous avons besoin d'une source, d'un vecteur, d'un récepteur et d'un support de propagation. Un exemple très simple en est la communication orale : dans ce cas, une personne qui parle est la source, l'onde sonore est le vecteur, la personne qui écoute est le récepteur et le support de propagation est l'air.

La communication radio envoie des informations d'un endroit à un autre en utilisant un type d'onde électromagnétique, les ondes radio. Les ondes radio se situent à l'extrémité des grandes longueurs d'onde du spectre électromagnétique et, contrairement au son, elles peuvent se propager dans le vide.



↑ Le spectre électromagnétique

La longueur d'onde des signaux radio peut aller d'environ 0,1 mètre à des dizaines de kilomètres.

La fréquence d'une onde (qui est le nombre de cycles par seconde, mesuré en Hz) peut être calculée à partir de la longueur d'onde en utilisant l'équation suivante:

$$\lambda \cdot f = c$$

Où  $\lambda$  est la longueur d'onde (qui est la longueur d'un cycle de l'onde),  $f$  est la fréquence et  $c$  est la vitesse de la lumière ( $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )

## Exercice

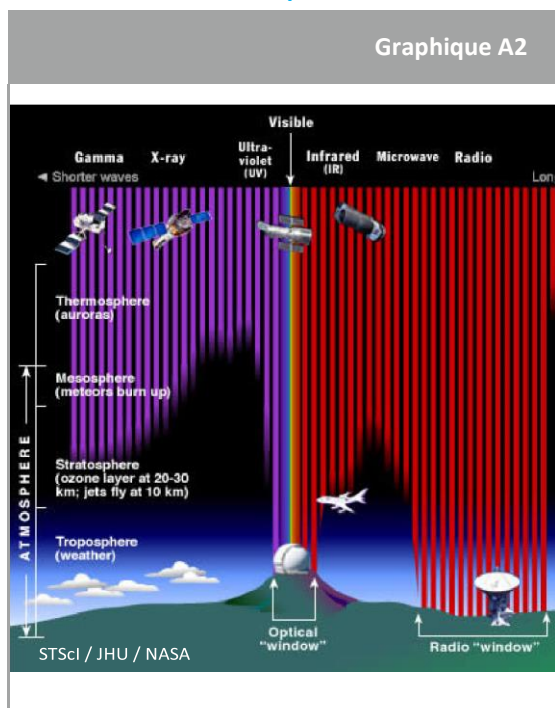
En utilisant les informations et l'équation ci-dessus, complétez le tableau ci-dessous pour les ondes radio :

	Unité de mesure	Valeur minimum	Valeur maximum
Longueur d'onde			10's de kilomètres
La fréquence			

## Activité 2: Ondes radio dans les satellites et les communications

Les ondes radio sont peut-être le type d'onde électromagnétique le plus largement utilisé dans les communications au jour le jour. Mais pourquoi sont-elles si utiles ? Dans cette activité, nous découvrirons les avantages des ondes radio dans les communications et la manière dont la fréquence et la longueur d'onde choisies pour nos ondes radio seront essentielles pour notre projet.

### Mon onde s'est perdue!



Il n'y a que certains types d'ondes dans le spectre électromagnétique qui ne sont pas absorbées par l'atmosphère. L'image suivante montre à quel point dans l'atmosphère les ondes spatiales sont absorbées.

Comme vous pouvez le constater, les ondes radio ont une place privilégiée dans le spectre électromagnétique, car la plupart d'entre elles traversent l'atmosphère sans être absorbées !

Les ondes radio, ainsi que certains micro-ondes, sont donc la meilleure option pour nos satellites de communication en orbite.

### Perte d'espace libre

Il y a un autre aspect dont nous devons tenir compte dans la communication radio. La perte de trajet en espace libre est la perte de puissance du signal d'une onde électromagnétique qui résulterait d'un trajet en visibilité directe à travers l'espace libre, sans obstacles à proximité pour atténuer le signal. Mais s'il n'y a pas d'obstacles, pourquoi avons-nous une perte de puissance du signal ? Essayons une analogie :

Imaginez gonfler un peu un ballon et dessiner un cercle dessus avec un marqueur. Si nous essayons de voir à l'intérieur du ballon, nous verrons que le matériau du ballon est trop dense pour voir à travers. Maintenant, gonflez un peu plus le ballon et redessinez le cercle de la même taille sur la surface. La zone que nous examinons est la même, mais comme le ballon s'est dilaté dans toutes les directions, le matériau

est moins dense et nous pouvons maintenant voir à travers. Il s'agit d'un principe similaire à celui de la perte d'espace libre. La perte d'espace libre apparaît dans le vide dans des conditions idéales, par exemple une communication radio entre satellites. Elle peut être calculée comme un rapport entre la puissance émise et la puissance reçue :

$$A = \text{Log}_{10}\left(\frac{P_{\text{transmis}}}{P_{\text{reçu}}}\right) = \text{Log}_{10}\left(\frac{(4 * \pi * R * f)^2}{c^2}\right) = 20 * \text{Log}_{10}\left(\frac{4 * \pi * R * f}{c}\right) [dB]$$

Où  $f$  est la fréquence émise et  $R$  est la distance émetteur-récepteur. Rappelez-vous, c'est la perte qui se produit dans le vide, les pertes dans l'atmosphère seront plus élevées que cela!

### Exercice 1

1. Calculez la perte d'espace libre en décibels d'un émetteur CanSat typique ( $f$  de 433 MHz) au moment du déploiement du CanSat (1 km).

---

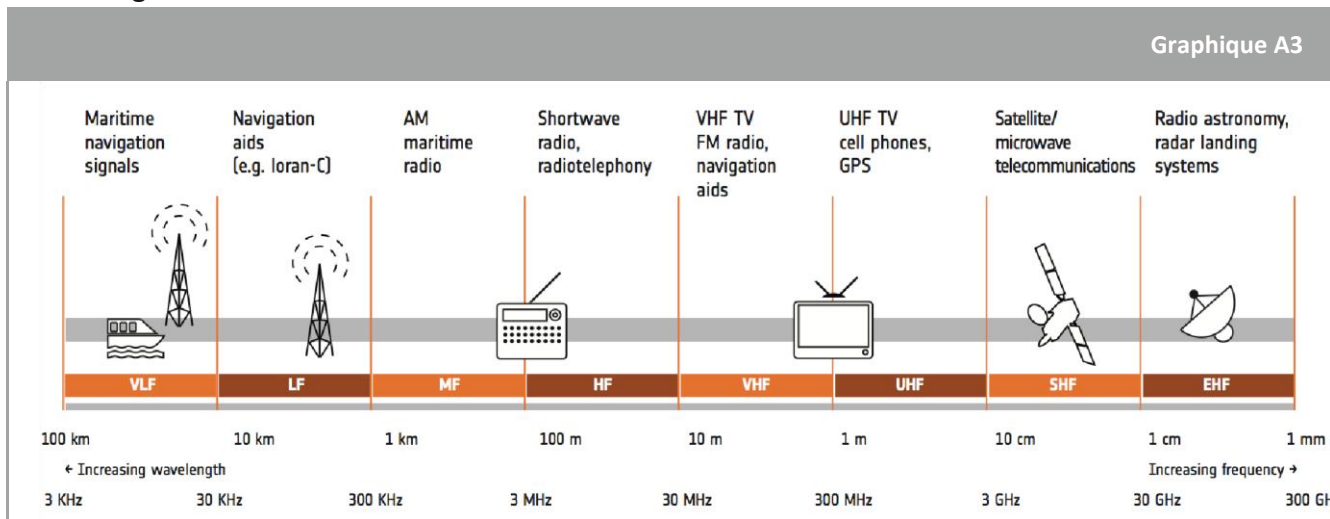


---

## Explorer le spectre radioélectrique

Explorons maintenant les utilisations des différents types d'ondes radio en fonction de leurs fréquences.

Dans l'image ci-dessous, nous pouvons voir comment les ondes radio de différentes fréquences sont utilisées dans différents types de communications, des signaux de navigation maritime aux systèmes d'atterrissage radar.



↑ Le spectre radio et ses utilisations

Comme on le voit sur l'image, pour les communications par satellite, nous utilisons la bande SHF (super high frequency), avec des fréquences allant de 2 GHz à 30 GHz, et des longueurs d'onde allant de 1 cm à 10 cm. Ces ondes tombent dans la bande micro-ondes, donc les ondes radio de ces fréquences particulières sont appelées micro-ondes.

### Exercice 2

Complétez le tableau ci-dessous en remplissant les longueurs d'onde de fonctionnement et la bande de trois des émetteurs CanSat les plus courants.

Émetteur	La fréquence	Longueur d'onde / m	Bande
APC220	418 MHz-455 MHz		
Lora	Divers (par exemple 868 MHz)		
X-Bee	2,4 GHz		

### Activité 3: Choisir la fréquence idéale

Il y a deux considérations importantes à prendre en compte lorsque vous décidez de la fréquence à utiliser pour votre appareil de communication. Le premier est « combien de données dois-je transmettre ? ». Le second est « jusqu'où je veux transmettre mes données ? ». Les deux sont affectées par la fréquence utilisée, voyons comment.

#### La bande fréquence idéale: bande passante vs plage

Dans l'exercice précédent, vous devriez avoir réalisé que tous les émetteurs-récepteurs CanSat transmettent des informations dans la même bande du spectre radio. Mais pourquoi ?

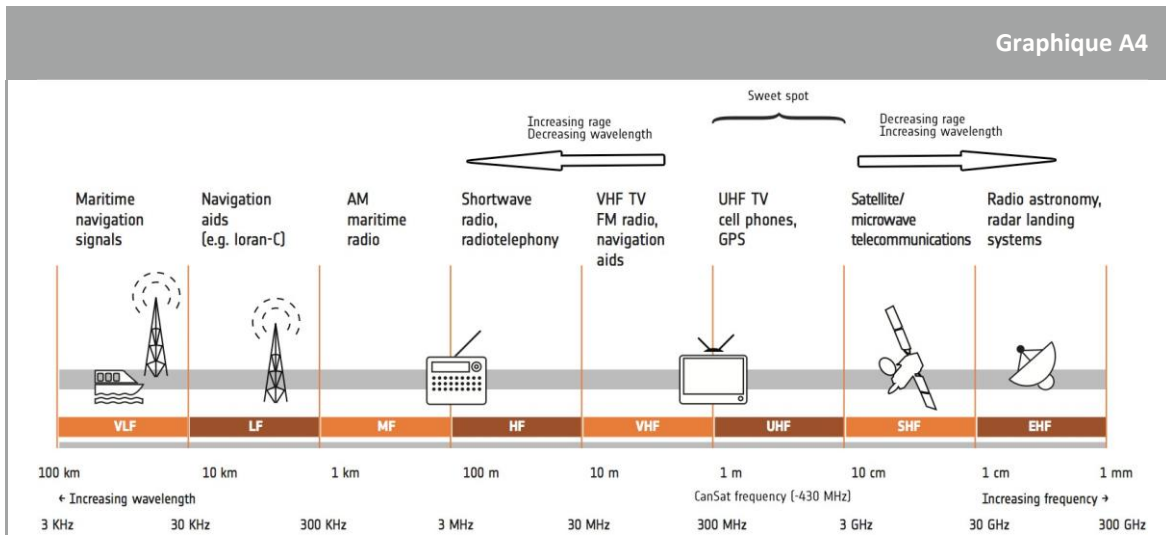
Deux éléments jouent un rôle clé dans le choix de notre fréquence : bande passante et portée.

**Bande passante**, mesurée en hertz, est la plage de fréquences entre laquelle se situe la majorité de la puissance de l'émetteur. Plus un signal doit transporter d'informations, plus il a besoin de bande passante. Par exemple, un système qui fonctionne sur des fréquences comprises entre 150 et 200 MHz a une bande passante de 50 MHz (200 MHz - 150 MHz).

Lors de l'examen de la bande passante, il est important de comprendre deux termes clés: bande étroite et large bande. Les signaux à bande étroite, comme leur nom l'indique, ont une bande passante plus petite (de l'ordre du kilohertz). Ils peuvent être utilisés pour les transmissions à faible débit. Les signaux à large bande, quant à eux, ont une bande passante de l'ordre du mégahertz et peuvent prendre en charge des transmissions de données beaucoup à plus haut débit, telles que la vidéo haute définition.

**La portée d'une onde de communication** est la distance que l'onde peut parcourir pour être correctement reçue. Cette portée limite résulte principalement de l'atténuation et de l'absorption par l'environnement. Dans une situation idéale, toutes les ondes peuvent parcourir une distance infinie (pensez à la lumière provenant d'étoiles à des millions d'années-lumière par exemple). Cependant, les objets et l'environnement peuvent absorber et diffracter les ondes - généralement, les plus grandes longueurs d'onde nécessitent des objets plus grands pour les diffracter ou les absorber.

Le but de chaque type de communication radio est différent : parfois nous voulons transmettre beaucoup d'informations sur une courte distance, d'autres fois nous devons transmettre très peu d'informations sur une longue distance. La décision d'exploiter notre CanSat sur une fréquence ou une autre, vient de l'analyse des objectifs et des caractéristiques de notre communication.



↑ Le spectre radio et ses utilisations

Dans l'image ci-dessus, nous voyons que plus la fréquence choisie est élevée, plus la bande passante disponible est large et plus la plage est basse. Cela signifie que nous pouvons transmettre beaucoup plus d'informations si nous choisissons les bandes de fréquences les plus élevées, mais la portée de nos communications sera nettement inférieure à celle des bandes de fréquences inférieures.

Cependant, ce n'est pas aussi simple que cela car la distance sur laquelle la communication radio est utile dépend de beaucoup d'autres choses que la longueur d'onde, telles que la puissance de l'émetteur, la qualité du récepteur, le type, la taille et la hauteur de l'antenne, le mode de transmission, le bruit et la présence de tout signal brouilleur.

La fréquence utilisée dans les émetteurs-récepteurs CanSat repose sur ce que l'on appelle souvent la bande de fréquence idéale, principalement la bande «ultra haute fréquence» ou «UHF» du spectre radioélectrique. Les fréquences plus élevées ne sont pas souhaitables car elles sont fortement absorbées par l'atmosphère, de sorte que leur portée diminue, tandis que les fréquences plus basses ont moins de capacité de largeur de bande.

### Exercice

- Comme chaque fréquence a son utilisation, réfléchissons aux bandes (basse, moyenne, haute fréquence) que vous pourriez utiliser pour les transferts de données ci-dessous:

Envoi d'un signal SOS sur plusieurs kilomètres - \_\_\_\_\_

Diffusion de séquences vidéo de votre CanSat vers une station au sol - \_\_\_\_\_

Envoi d'un SMS - \_\_\_\_\_

- Si la bande de fréquence idéale est dans la bande UHF, pourquoi les satellites utilisent-ils principalement la bande SHF?

\_\_\_\_\_



## Le saviez-vous?

L'ESA exploite certaines des stations de suivi les plus sophistiquées, situées partout dans le monde, permettant aux vaisseaux spatiaux de rester en contact avec la Terre tout en voyageant loin dans notre système solaire. Les ingénieurs peuvent localiser l'orbite d'un vaisseau spatial explorant Mars ou Vénus - à une distance de plus de 100 millions de kilomètres de la Terre - avec une précision de moins d'un kilomètre.



[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking\\_spacecraft\\_deep\\_across\\_the\\_void](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking_spacecraft_deep_across_the_void)

## Activité 4: AM, FM ou ...?

AM et FM sont deux termes que vous connaissez peut-être déjà. Vous les avez probablement rencontrés en écoutant la radio, ou peut-être avez-vous installé votre propre station de radio? Mais qu'est-ce que cela signifie exactement et pourquoi est-ce important pour notre CanSat? Découvrons-le!

### Chaque message a besoin d'un messager

Le 'M' dans 'AM' et 'FM' signifie 'modulation', avant de pouvoir expliquer ce que cela signifie, nous devons d'abord comprendre deux autres termes:

- **Onde de signal:** contient les informations ou le message à transmettre (par exemple les données d'humidité)
- **Onde porteuse:** les moyens par lesquels les informations doivent être transmises (généralement une onde électromagnétique, par exemple une onde radio, une lumière visible ou un courant alternatif)

L'utilisation d'ondes radio comme ondes porteuses pour transférer des informations signifie que des informations doivent être ajoutées à la fréquence radio utilisée. L'ajout de ces informations s'appelle la modulation.

Essayons une expérience de réflexion rapide pour nous aider à comprendre la modulation.

Prenez du papier, comme une enveloppe, et essayez de le lancer à plus de 10 mètres. Le pouvez-vous ?

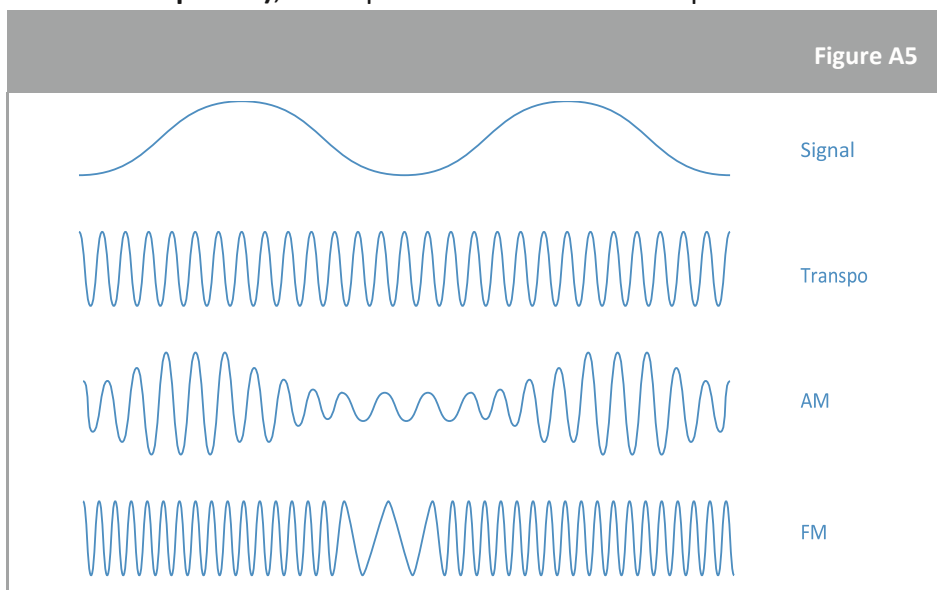
Maintenant, prenez une pierre de taille moyenne et enroulez-la de papier. Êtes-vous capable de le lancer à 10 mètres cette fois?

Le papier renfermant la pierre peut atteindre son objectif (parcourir 10 mètres) car nous avons changé l'une des propriétés du système. Les informations que nous voulons envoyer (papier) peuvent ensuite être transmises, en utilisant un support (pierre).

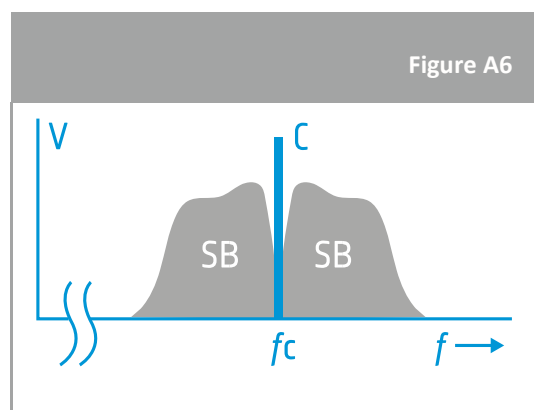
Dans l'électronique et les télécommunications, la modulation est le processus de transmission d'un signal de message, par exemple, un train de bits numérique ou un signal audio analogique, à l'intérieur d'un autre signal qui peut être physiquement transmis. Dans ce cas, nous modifions les propriétés de ce signal, comme la fréquence ou l'amplitude.

Il existe de nombreuses formes de modulation, les plus courantes étant toutefois AM et FM.

- Avec **AM (modulation d'amplitude)**, les informations sont transmises en modifiant l'amplitude de la fréquence porteuse.
- En **FM (modulation de fréquence)**, la fréquence instantanée de la porteuse est modifiée.



↑ La différence entre la modulation AM et FM



Un exemple de ce à quoi ressemble une onde modulée finale est présenté ci-dessous. La tension (V) est indiquée sur l'axe y, car c'est ainsi qu'un signal est initialement mesuré. Les ordinateurs de bord sont programmés pour ensuite relier la tension à la quantité qui nous intéresse réellement.

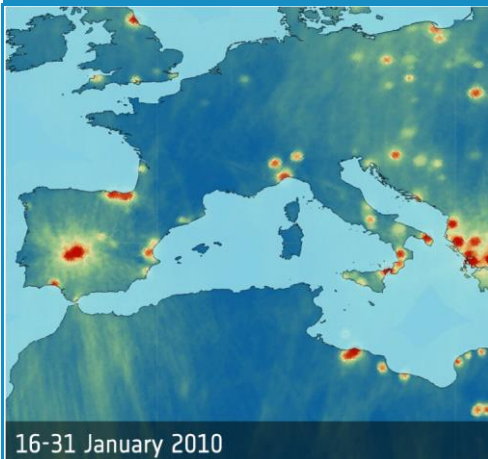
Sur la figure A6,  $f$  est la fréquence,  $f_c$  est la fréquence porteuse et SB sont les bandes latérales. Vous pouvez voir comment la tension du signal tombe à zéro sur les bords des bandes latérales. Plus la bande passante est grande, plus les bandes latérales sont larges.

↑ Signal radio modulé

## Exercice

Nos appareils de tous les jours ne dépendent jamais des mêmes fréquences. Vous pouvez voir quelques exemples d'appareils de tous les jours et de leurs fréquences de fonctionnement dans la figure A3 de l'activité 2. De même, dans le défi européen CanSat, les fréquences allouées aux équipes CanSat sont séparées d'au moins 0,1 MHz. Pouvez-vous expliquer pourquoi?

## Le saviez-vous?



La mission SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) de l'ESA est dédiée à la réalisation d'observations globales de l'humidité du sol sur les terres et de la salinité des océans. Lorsque le satellite SMOS de l'ESA a été mis en orbite en 2009, il s'est avéré que de nombreux émetteurs illégaux dans le monde interrompaient son signal. Cependant, en travaillant avec les autorités nationales de protection des fréquences, 75% de ces émetteurs ont maintenant été arrêtés. Néanmoins, il s'agit d'un processus laborieux et certaines régions, telles que la côte libyenne et la mer Méditerranée orientale, restent contaminées là où les stratégies d'atténuation n'ont pas encore abouti.

Alors, quel type de modulation devrions-nous utiliser?

Eh bien, nous savons que:

- Lorsque nous amplifions un signal AM, le bruit est également amplifié, une situation qui ne se produira pas avec la modulation FM.
- En modulation FM, l'amplitude de l'onde porteuse est petite par rapport à l'amplitude des bandes latérales, de sorte que la majeure partie de la puissance de transmission va aux bandes latérales, où se trouvent les informations.
- Les mêmes informations peuvent être transmises en utilisant moins de puissance en FM par rapport à AM.
- La bande passante en FM est supérieure à celle pour AM.
- Les modulateurs et démodulateurs sont plus complexes en FM qu'en AM.

Tous les facteurs importants ci-dessus sauf un favorisent la FM plutôt que l'AM, et c'est la raison pour laquelle vous voyez qu'elle est beaucoup plus utilisée dans la vie quotidienne. Cependant, ces deux modulations sont devenues démodées maintenant, car d'autres types de modulation comme FSK (modulation par décalage de fréquence), nous aident à transmettre beaucoup plus d'informations que AM et FM. L'un des émetteurs-récepteurs les plus utilisés dans CanSat, l'APC 220, utilise ce type de modulation.

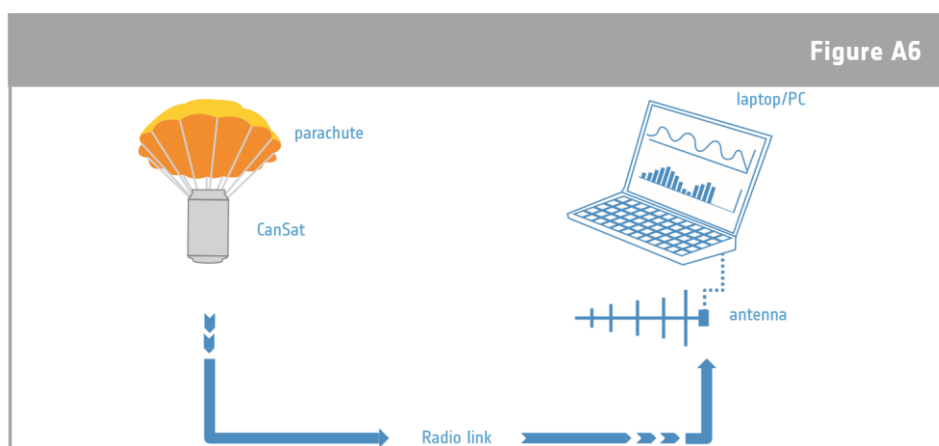
## Activité 5: Recevoir vos données

Un émetteur crée un signal oscillant sur un câble connecté à l'antenne. Ce signal est transformé et émis sous forme d'ondes électromagnétiques à travers l'antenne. A la réception de la communication, une partie de cette onde est collectée et reconvertie en courant électrique par une autre antenne.

Votre projet CanSat impliquera deux antennes: la première est l'antenne à bord du CanSat, la seconde est l'antenne utilisée à la station au sol. Les antennes doivent être fabriquées selon des spécifications différentes, bien que le mode de fonctionnement soit similaire pour les deux antennes. Nous devons examiner les caractéristiques de chaque antenne afin de choisir la meilleure option pour le CanSat et la station au sol.

## Écoute sur les ondes stationnaires

Pendant qu'il est dans les airs, le CanSat envoie des informations par ondes radio et ces ondes sont détectées par une antenne que nous maintenons à la station au sol. Ces informations sont ensuite traitées par notre code en informations que nous pouvons comprendre, comme les mesures de température et d'humidité. Un terme que vous verrez souvent une fois que vous aurez approfondi vos recherches pour fabriquer votre propre antenne est une antenne «1/4 de longueur d'onde». Cela fait référence aux dimensions réelles de l'antenne par rapport à la longueur d'onde de l'onde que vous essayez de recevoir. Lorsque l'onde interagit avec l'antenne, des ondes stationnaires d'électrons sont créées à l'intérieur du métal. L'orientation et la longueur de l'antenne garantissent que l'onde stationnaire finale reflète précisément l'onde entrante. Ce mouvement d'électrons (un courant) peut alors être interprété par un ordinateur.



↑ Schéma de communication CanSat-Ground Station

Les appareils contenant des récepteurs radio comprennent les téléviseurs, les équipements radar, les radios bidirectionnelles, les téléphones portables, les réseaux informatiques sans fil, les appareils de navigation GPS, les antennes paraboliques, les radiotélescopes, les appareils Bluetooth, les ouvre-portes de garage et les moniteurs pour bébé.

La qualité de la liaison radio dépend principalement de trois aspects: la puissance de l'émetteur, la sensibilité du récepteur et les antennes utilisées. Tous ces éléments peuvent être modifiés en sélectionnant l'émetteur et les antennes que vous utilisez.

### Le saviez-vous?



Il s'agit de la zone de test d'antenne et de RF européenne hybride Hertz de l'ESA pour les tests d'antenne à ESTEC, anciennement connue sous le nom de plage de test de charge utile compacte. Les murs en métal filtrent les signaux radio extérieurs tandis que le revêtement intérieur en mousse épineuse absorbe les signaux radio à l'intérieur pour créer des conditions simulant le vide infini de l'espace.

## Exercice

1. Quel type d'antenne choisiriez-vous pour votre station au sol et laquelle pour votre CanSat?

---



---

## Types d'antennes

Trois types d'antenne courants sont l'antenne quart d'onde, l'antenne Canard et l'antenne Yagi. Nous allons maintenant explorer tout cela plus en détail.

### Antenne CanSat type 1: Antenne quart d'onde:

Une forme d'antenne très courante est une antenne monopôle. Une antenne monopôle est une antenne avec un conducteur droit en forme de tige, dont le plus courant est l'antenne quart d'onde. La raison derrière le nom est assez simple: la longueur de la tige conductrice est un quart de la longueur d'onde de l'onde (radio) qu'elle recevra ou émettra!

La longueur requise d'une antenne quart d'onde peut donc être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$L = \frac{c}{4 * f}$$

Où:

L est la longueur d'antenne requise [m]

c est la vitesse de la lumière ( $3 \times 10^8$  m / s) [SU] f est le

fonctionnement la fréquence [Hz]

La formule montre que la longueur de l'antenne pour un récepteur 434 MHz doit être d'environ 17,3 cm. Le fil peut être soudé directement au contact d'antenne de la carte émettrice ou, lors de l'utilisation d'un câble coaxial, l'antenne peut être placée à une certaine distance de la carte. Lors de l'utilisation d'un câble coaxial, les 17,3 derniers cm du conducteur extérieur devraient être retirés pour former l'antenne réelle  $\frac{1}{4}$  de longueur d'onde. Il doit être protégé avec un matériau isolant, car le contact électrique avec des surfaces métalliques peut endommager l'émetteur.

## Exercice

2. Pouvez-vous calculer la longueur nécessaire à une antenne quart d'onde pour recevoir un signal Wi-Fi à 2,4 GHz?

## Antenne CanSat type 2: antenne Canard



Figure A7

Une antenne « Canard » est probablement le type d'antenne avec lequel vous êtes le plus familier, c'est le type que vous trouverez à l'arrière de vos routeurs domestiques et de vos modems haut débit. À l'intérieur du boîtier en plastique d'une antenne Canard se trouve une hélice métallique, utilisée pour recevoir ou transmettre le signal. C'est le type d'antenne qui est normalement inclus dans le kit CanSat

## Antenne de la station au sol: Antenne Yagi

Un autre type d'antenne avec lequel vous serez familier est une antenne Yagi. Il s'agit de l'antenne que l'on trouve souvent connectée aux téléviseurs à l'ancienne et sur les toits qui reçoivent des signaux de télévision analogiques. La figure ci-dessous montre une antenne Yagi directionnelle qui fonctionne à deux fréquences différentes. L'antenne a un Yagi à sept éléments pour 433 MHz et un Yagi à trois éléments pour 145 MHz. Remarquez comment l'orientation des deux ensembles d'éléments est différente, garantissant que les ondes stationnaires formées n'interagissent pas les unes avec les autres. Pour recevoir les ondes radio CanSat, la construction d'une antenne Yagi est une bonne option car elle peut être construite relativement facilement, en utilisant des matériaux tels que les tubes en bois et en cuivre.

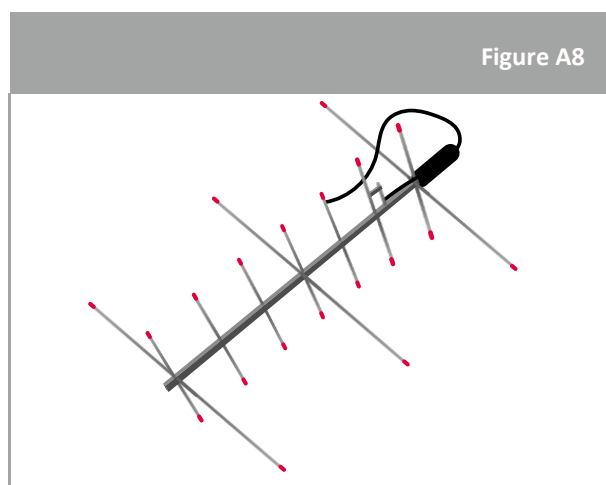


Figure A8

↑ Une « flèche » qui est une antenne Yagi pour un fonctionnement à 2 fréquences différentes

L'antenne CanSat doit être suffisamment robuste pour survivre au lancement d'une fusée. En raison des restrictions de taille, une antenne fil quart d'onde fonctionne très bien pour notre CanSat. Le quart d'onde décrit la longueur de l'antenne en référence à la fréquence de fonctionnement. Les émetteurs des CanSats fonctionnent normalement à environ 433 MHz, bien que la fréquence précise assignée à votre équipe dans la compétition européenne soit généralement dans une plage de 433 à 435 MHz. Ceci est fait pour protéger chaque équipe contre les interférences, dues à tous les CanSats de l'autre équipe.

## Construire une antenne Yagi

Les antennes Yagi sont très courantes et sont les antennes de choix pour de nombreuses équipes CanSat. Vous êtes cependant libre d'utiliser différents modèles et approches si vous le souhaitez. Le module radio utilisé dans votre CanSat sera une décision beaucoup plus individuelle, en fonction des objectifs de votre mission et de votre budget et espace disponibles. Il est essentiel que vous regardiez les spécifications techniques du module que vous envisagez avant de l'acheter, pour vous assurer qu'il est adapté à votre mission!

La structure principale d'une antenne Yagi est représentée sur la Figure A8. Il est essentiel que la distance entre chacun des soi-disant «éléments parasites» et la longueur de chacun soit calculée avec précision (il existe de nombreux outils en ligne pour vous aider à le faire!). Les éléments parasites doivent être électriquement conducteurs (une tige métallique est parfaite) mais pas électriquement connectés aux autres composants.

Un guide détaillé étape par étape sur la construction d'une antenne Yagi de base 430 MHz peut être trouvé ici: <https://www.youtube.com/watch?v=2paNzKMW-8c>. Si vous avez une version imprimée de ce document, vous pouvez également écrire «Antenne DIY Yagi-Uda» dans la fonction de recherche YouTube afin de trouver cette vidéo.

## On a rien sans rien

Le gain de l'antenne est un chiffre de performance clé qui combine la directivité de l'antenne et l'efficacité électrique. Dans une antenne émettrice, le gain décrit dans quelle mesure l'antenne convertit la puissance d'entrée en ondes radio dirigées dans une direction spécifiée. Dans une antenne de réception, le gain décrit dans quelle mesure l'antenne convertit les ondes radio provenant d'une direction spécifiée en énergie électrique. Lorsqu'aucune direction n'est spécifiée, on entend par «gain» la valeur de crête du gain, le gain dans la direction du lobe principal de l'antenne. Un graphique du gain en fonction de la direction est appelé diagramme de rayonnement.

**Gain de puissance (ou simplement gain)** est une mesure sans unité qui combine l'efficacité d'une antenne  $E$  (calculée à partir de la puissance d'entrée  $P_{in}$  et de la puissance de sortie  $P_o$ ) et la directivité  $D$ :

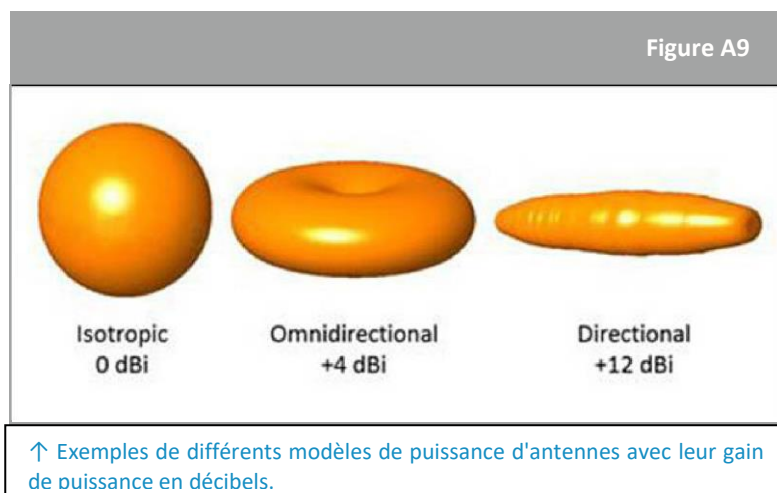
$$G = E_{antenne} * D = \frac{P_o}{P_{in}} * D$$

Alors que le gain en décibels est calculé comme suit:

$$G_{dB} = 10 * \log_{10} * (G)$$

Lorsque la directivité est convertie en décibels, nous l'appelons le gain d'antenne par rapport à une source isotrope (dBi). Généralement, plus le gain est élevé, plus les performances de l'antenne sont efficaces et plus la portée sur laquelle l'antenne fonctionnera est grande. Pour chaque 6 dBi de gain, vous doublez la portée de l'antenne.

Comme vous pouvez le voir sur les images, les antennes directionnelles (comme l'antenne Yagi) ont un gain plus élevé mais leur inconvénient est qu'elles ne pourront émettre ou recevoir fortement des ondes radio que dans une direction spécifique. Cependant, les antennes omnidirectionnelles (par exemple monopôle) ont un gain plus faible en décibels mais elles peuvent émettre ou recevoir environ 360 degrés.



## Considérations relatives au gain d'antenne Yagi-Uda

Un certain nombre de fonctionnalités de la conception Yagi affectent le gain global :

**Nombre d'éléments dans le Yagi :** L'un des principaux facteurs affectant le gain de l'antenne Yagi est le nombre d'éléments dans la conception. En règle générale, un réflecteur est le premier élément ajouté dans toute conception de yagi car cela donne le gain le plus supplémentaire. Des éléments directeurs sont ensuite ajoutés.

**Espacement des éléments :** L'espacement peut avoir un impact sur le gain Yagi, mais pas autant que le nombre d'éléments. Typiquement, un faisceau à grand espacement, c'est-à-dire un faisceau avec un grand espacement entre les éléments, donne plus de gain qu'un faisceau plus compact. Les positions d'élément les plus critiques sont le réflecteur et le premier directeur, car leur espacement régit celui de tout autre élément qui peut être ajouté.

**Longueur d'antenne :** Lors du calcul des positions optimales pour les différents éléments, il a été montré que dans une antenne Yagi à plusieurs éléments, le gain est généralement proportionnel à la longueur de l'antenne. Il y a une certaine latitude dans les positions des éléments.

## Activité 6: Tester vos communications

Maintenant que nous comprenons les complexités de la communication radio, nous sommes prêts à construire et tester un système de communication complet! Dans cette activité, nous effectuerons quelques tests simples en utilisant des émetteurs APC220 et une antenne canard.

## Réception de données

Il existe de nombreux émetteurs et récepteurs différents que vous pouvez utiliser dans votre CanSat, et nous ne pouvons pas tous les couvrir en détail. Dans cette section, nous allons explorer l'utilisation des émetteurs APC220 pour envoyer et recevoir des informations!

**Remarque:** Les instructions ci-dessous peuvent ne pas fonctionner parfaitement pour votre configuration exacte. Votre système d'exploitation, la version Arduino, la carte Arduino et les puces



d'émetteur que vous utilisez sont tous importants. Si vous rencontrez des problèmes, consultez les fiches techniques et les instructions du fabricant.

## Étape 1 : Les éléments

En plus de votre carte Arduino et d'un ordinateur, vous aurez également besoin d'un ensemble d'émetteurs APC220, de deux antennes canard et d'un convertisseur USB-TTL approprié. Dans ce guide, nous utilisons le convertisseur USB-TTL PL-2303.

**Remarque:** Vous aurez également besoin d'un deuxième ordinateur portable ou d'une alimentation externe pour votre Arduino.

## Étape 2 : Les pilotes

Pour que le convertisseur USB-TTL s'interface avec votre ordinateur, vous devez d'abord installer les pilotes. Les liens vers les pilotes peuvent être trouvés ici :

[https://wiki.dfrobot.com/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\\_SKU\\_TEL0005\\_#Communication\\_Test](https://wiki.dfrobot.com/APC220_Radio_Data_Module_SKU_TEL0005_#Communication_Test)

**Remarque :** Il existe des problèmes connus avec les appareils Windows 8/10 et les convertisseurs USB-TTL PL-2303HXA et PL-2303X. Si votre ordinateur ne reconnaît pas le périphérique, vérifiez les numéros de version.

Une fois que vous avez installé les pilotes, vérifiez que le périphérique est reconnu en allant dans Démarrer -> Gestionnaire de périphériques et en le recherchant dans la section «Ports». S'il ne figure pas dans la liste, essayez de redémarrer votre PC et de vérifier à nouveau.

## Étape 3 : appairage de l'émetteur et du récepteur

L'étape suivante consiste à configurer les deux appareils APC220 pour qu'ils soient réglés sur la même fréquence et qu'ils envoient / reçoivent au même débit, sinon les deux ne pourront pas communiquer entre eux.

Pour ce faire, nous utiliserons un croquis Arduino spécial qui peut être téléchargé sur l'UNO et utilisé pour configurer les appareils.

Tout d'abord, [télécharger](#) le fichier de configuration APC220 '.ino'

Ensuite, ouvrez et téléchargez le code sur l'Arduino.

Maintenant, connectez l'APC220 à l'Arduino Uno comme indiqué sur la photo ci-dessous (de la broche numérique 8 à GND):



Une fois l'APC220 connecté, ouvrez le «moniteur série», un menu devrait apparaître, si ce n'est pas le cas, tapez «m» dans la ligne de commande et appuyez sur Entrée.

Le menu donne des instructions sur la configuration de l'APC220. Le point le plus important est de vous assurer que vous configurez votre paire d'APC220 sur la même fréquence, la même vitesse de transmission, etc.

**Remarque:** Si vous avez une classe avec de nombreux ensembles d'APC220, c'est une bonne idée de régler chaque paire sur une fréquence différente, à moins que vous ne souhaitiez écouter les messages des autres groupes! Rappelez-vous que la plage de fonctionnement de l'APC220 est de 420 à 450 MHz.

Un exemple de commande pour configurer l'APC220 est également donné et expliqué dans le menu.

## Étape 4 : Il est temps de tester!

Nous sommes maintenant prêts à essayer d'envoyer et de recevoir des données.

Pour ce faire, nous devons utiliser deux logiciels, l'IDE Arduino, que vous connaissez bien, et "Serial Port Utility" peut être téléchargé [ici](#).

**Remarque:** Il existe de nombreux logiciels que vous pouvez utiliser pour lire le port série, n'hésitez pas à utiliser ceux avec lesquels vous êtes le plus à l'aise!

Tout d'abord, connectez votre carte Arduino et envoyez-lui le code ci-dessous.

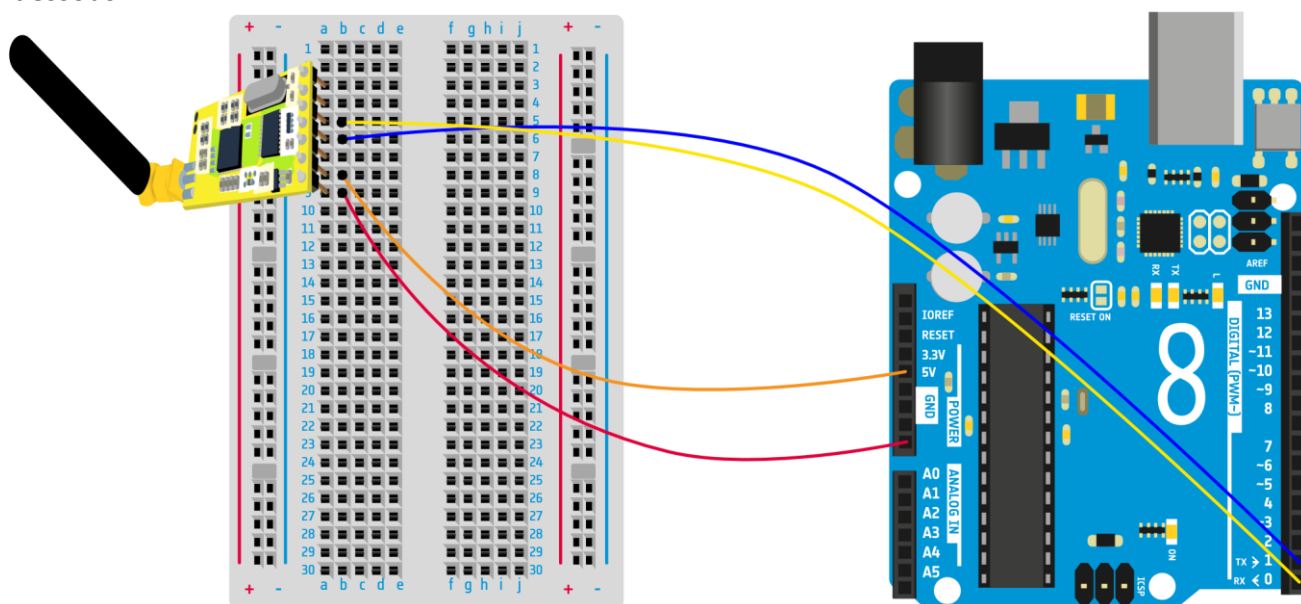
```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);           //Set serial baud rate to 9600
}

void loop()
{
  Serial.println("Hello!");    //print out hello string
  delay(1000);                //1 second delay
}

```

Maintenant, déconnectez l'Arduino de l'ordinateur et configurez le circuit comme indiqué dans la figure ci-dessous.



Une fois le circuit configuré, vous pouvez le connecter à une alimentation externe (vous ne pouvez pas le connecter à l'ordinateur portable que vous utiliserez pour recevoir des données, car cela interférerait).

Enfin, connectez l'autre APC220 à votre ordinateur via le convertisseur USB-TTL et ouvrez l'utilitaire de port série.

Toutes nos félicitations! Vous devriez maintenant voir le message «Bonjour!». Si vous ne voyez pas le message, vérifiez que vous lisez le bon port COM et que l'IDE Arduino est fermé.

Vous pouvez étendre cela en incorporant des mesures dans votre code et en ajoutant des horodatages, afin que les données d'origine puissent être vérifiées.

## Exercice

Testons les capacités de nos émetteurs et récepteurs ! Une fois que vous êtes sûr de pouvoir transmettre des données en suivant le guide ci-dessus, demandez à un partenaire de s'éloigner de l'émetteur avec le récepteur.

1. À quelle distance votre partenaire peut-il aller avant que vous ne receviez un signal? \_\_\_\_\_

2. Que pourriez-vous changer pour améliorer cela?

Pensez à tout ce dont nous avons discuté jusqu'à présent dans cette ressource!

---

---

---

3. Construisez une antenne Yagi et répétez les tests. Si vous y avez accès, utilisez les trois modules radio présentés dans l'activité 2. Quelle est la principale différence entre l'antenne Yagi et l'antenne quart d'onde?

---

## → Liens utiles

Un exemple d'antenne WiFi facile à construire

[instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/](https://www.instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/)

Informations sur le module radio APC220

[dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005))

Un exemple d'achat d'un module radio LoRa 433 MHz [amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/](https://www.amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/)