

# FICHE DECOUVERTE LYCEE

## (ré)SOLUTION

### Technologies et instruments de mesures



© CNES - ARGOCEAN TAIARO 2023/2024



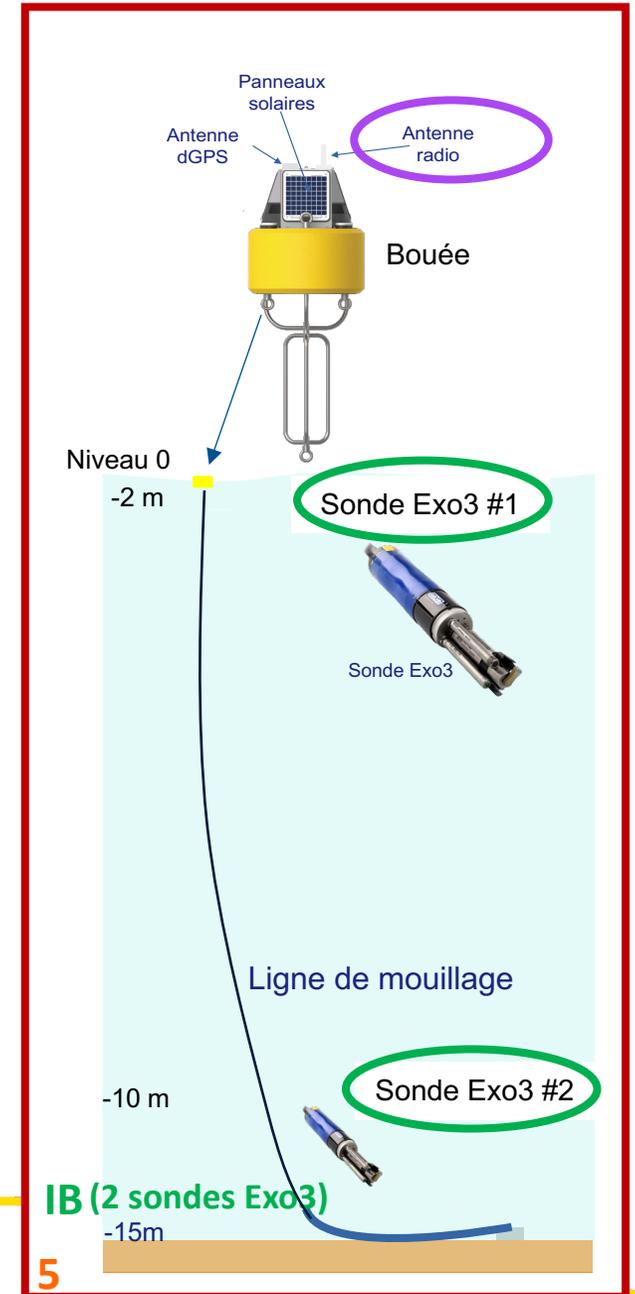
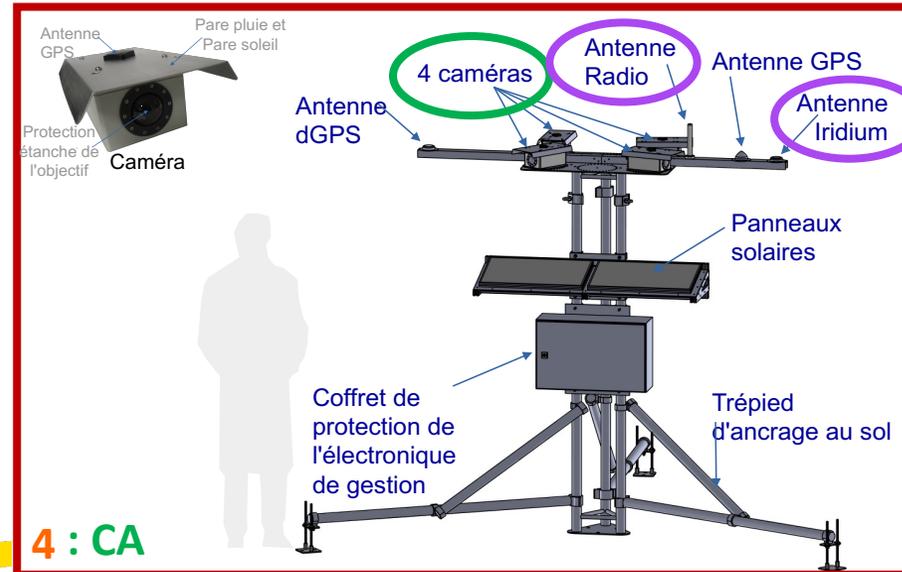
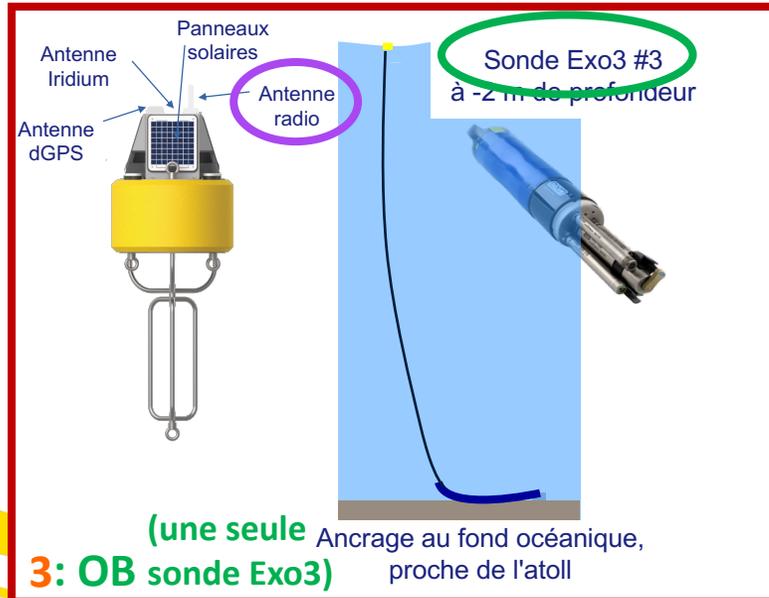
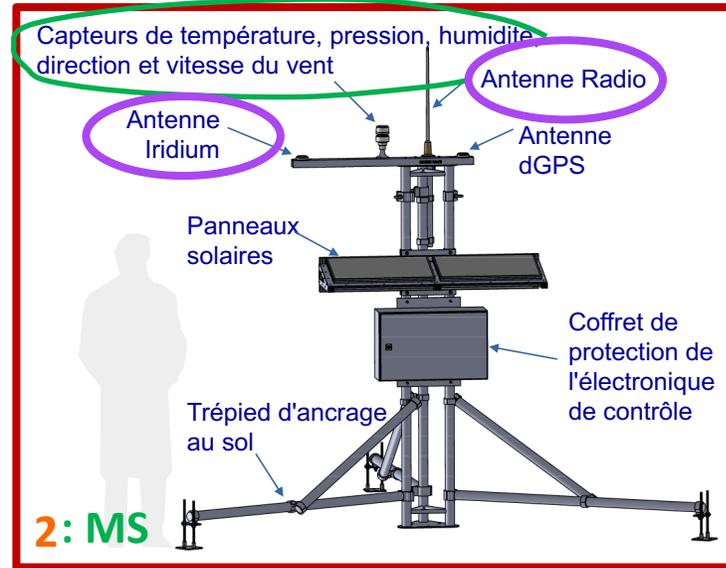
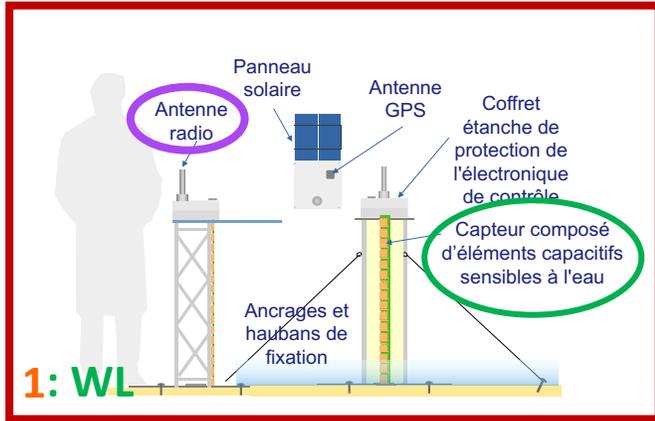
# (ré)SOLUTION

## L'instrumentation de Taiaro

### Identification des instruments

Pour mesurer

Pour transmettre les mesures





### 1- La valeur décimale de cet octet (suite de 8 bits) est 142 :

Position des BIT (de droite à gauche) :	7	6	5	4	3	2	1	0
Puissances de 2 :	$2^7$	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Valeur :	128	64	32	16	8	4	2	1
	1	0	0	0	1	1	1	0

Calcul de sa valeur en système décimal :

$$= (1 \times 2^7) + (0 \times 2^6) + (0 \times 2^5) + (0 \times 2^4) + (1 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (1 \times 2^1) + (0 \times 2^0)$$
$$= 128 + 0 + 0 + 0 + 8 + 4 + 2 + 0 = 142$$

2- Avec un octet (suite de 8 bits), on peut faire  $2^8$  combinaisons possibles, soit 256 nombres décimaux différents. Cela ne suffit bien évidemment pas à coder toutes les informations d'où la nécessité d'utiliser de nombreux octets.

On utilise ainsi souvent des Ko (Kilooctet 1Ko = 1000 octets), Mo (Mégaoctet), Go (Gigaoctet), To (Téraoctet)... Les fichiers utilisés au quotidien sont souvent de taille importante : de quelques Mo pour les photos à quelques dizaines de Go pour les films en haute définition par exemple. Les disques durs de stockage atteignent quelques Teraoctets et même des unités encore supérieures : des Po (Pétaoctet : 1000 Teraoctets) etc.

(A savoir : le stockage génère des dépenses d'énergie importantes quand les appareils sont sous tension ...)

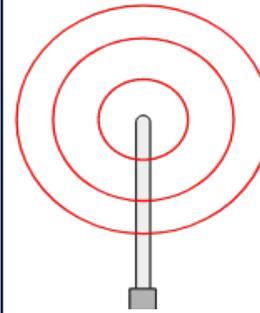
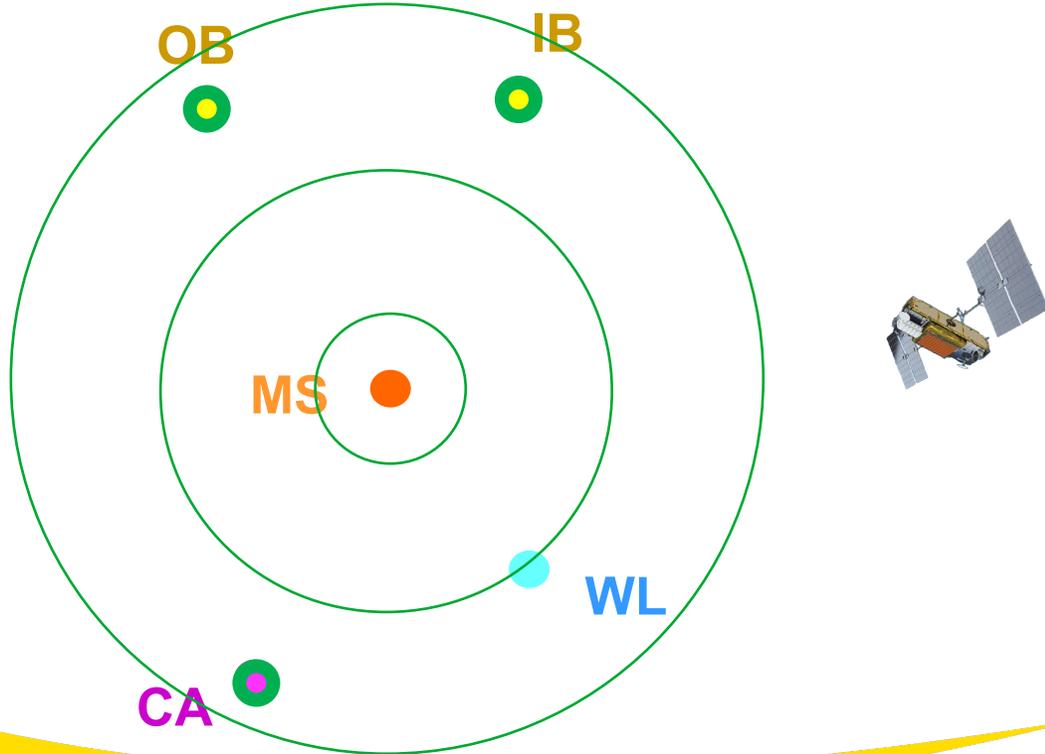
## Cycle de fonctionnement de l'instrumentation

Schématisations données à titre d'exemple correctif

### Etape 1: Correction dGPS

- : ondes radio émises pour **dGPS Cor send**
- : réception radio pour calcul du positionnement – **Rec/ Rel.Pos.Calc**

Step	MS	IB	OB	WL	CAM
1. dGPS	dGPS Cor. send	Rec Rel.Pos. Calc.	Rec Rel.Pos. Calc.		Rec Rel.Pos. Calc.



Un émetteur radio émet des ondes électro-magnétiques de même nature que la lumière: elles se propagent très bien dans l'air et dans toutes les directions. Pour symboliser leur propagation dans toutes les directions, on utilise souvent une symbolisation par des cercles.

La fréquence des ondes, mesurée en MHz, c'est-à-dire en millions d'oscillations par seconde, est très précisément contrôlée par l'émetteur radio, (modulation) ce qui permet

de coder un message correspondant aux octets composés de 0 et de 1. Par exemple 442,650100 MHz indique le 1 et 442,649900 MHz indique le 0.

Pour s'adresser à un instrument en particulier, on peut intégrer des identifiants numériques dans le message, comme lors des transmissions radio vers les satellites par exemple. Les émetteurs des radios FM n'ont pas ce souci puisqu'ils s'adressent à tout le monde, un peu comme les corrections dGPS ici !

La portée (distance maximale de réception) dépend de la puissance de l'émetteur, de la sensibilité du récepteur, du type de modulation et du traitement numérique du signal.

### Etape 2 : Acquisition capteurs

↻ : Acquisition et mémorisation des mesures par les capteurs

OB



IB



MS



WL

CA



En 2 min, les instruments acquièrent les données de leurs capteurs :

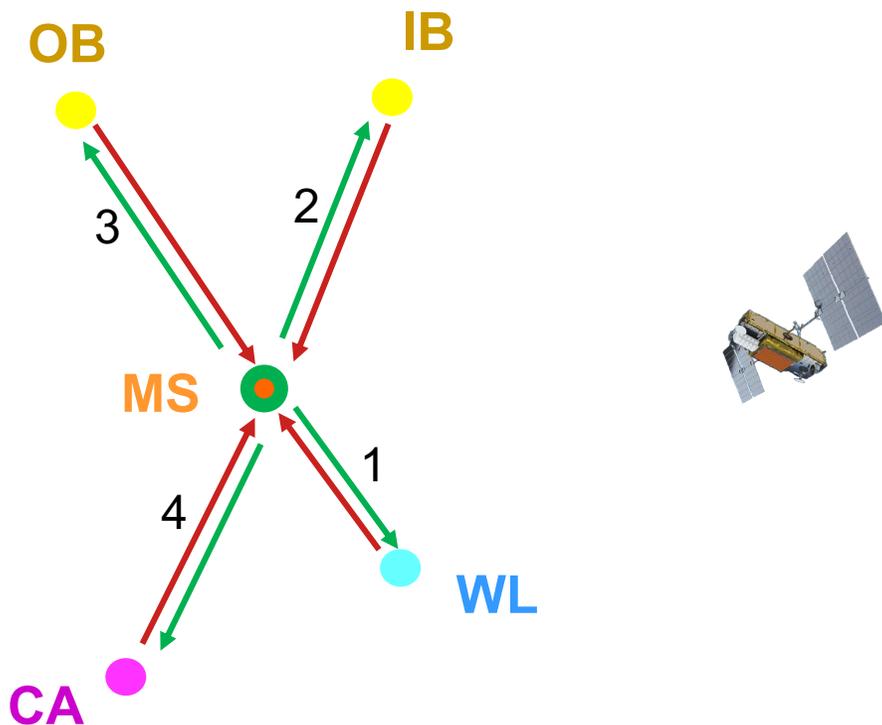
- paramètres météo (capteurs Wth)
- mesures des capteurs immergés d' IB et OB
- niveau d'eau relevé par WL
- images pour les caméras

Tous les instruments mémorisent leurs données dans leur mémoire flash. Ce stockage très rapide permet de sauvegarder toutes les mesures et acquisitions.

Step	MS	IB	OB	WL	CAM
2. Sensors acquisitions	Weather sensors Mem	Sensor Mem	Sensor Mem	Sensor Mem	Mem

### Etape 3 : Collecte données

- : Req (Request) radio de la MS aux instruments
- 1,2,3,4 : Ordre de communication
- : Réponse radio de l'instrument (envoi de ses données)



Step	MS	IB	OB	WL	CAM
3. Data collection	Req WL			Data Tr	
	Req IB	Data Tr			
	Req OB		Data Tr		
	Req CA				Data Tr
	Mem Global Frame				

La station principale demande les données aux instruments, chacun à leur tour, dans l'ordre :

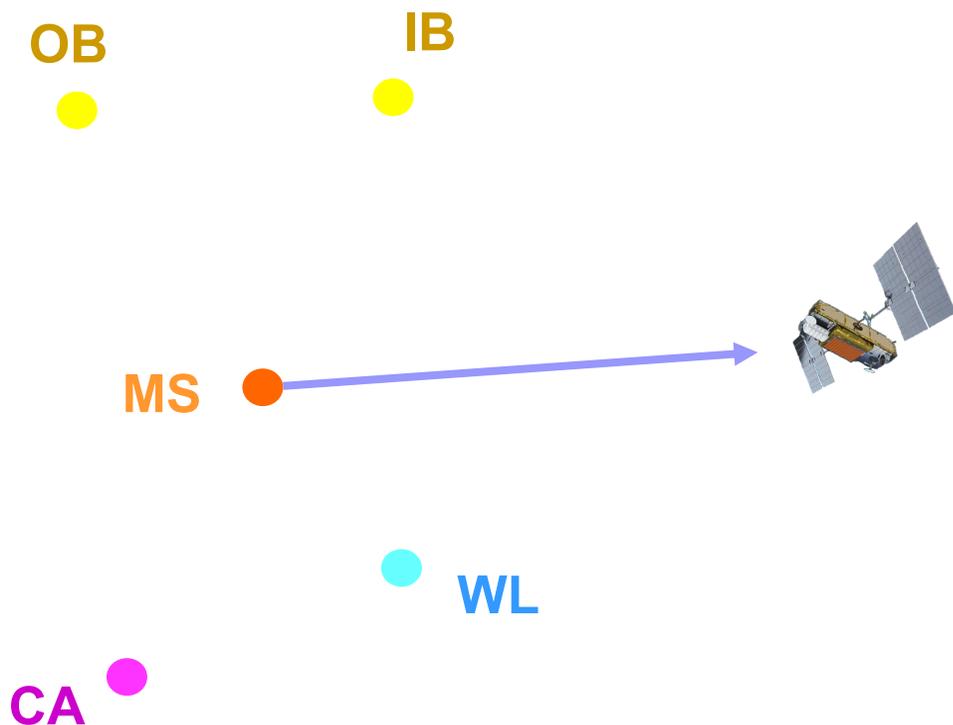
- 1- NIVEAU D'EAU WL
- 2- BOUÉE IB
- 3- BOUÉE OB
- 4- CAMÉRA CA

La séquence de collecte dure au maximum 4 minutes. Si la réponse n'est pas reçue dans les 10 secondes, la demande est répétée par la MS.

La MS mémorise les données de toutes les mesures, codées en binaire, dans 176 octets (trame).

### Etape 4: Mémorisation et envoi Iridium

→ : ondes radio émises (fréquence Iridium)



Step	MS	IB	OB	WL	CAM
4. Iridium emission	IRIDIUM Emit StBy	StBy	StBy	StBy	StBy

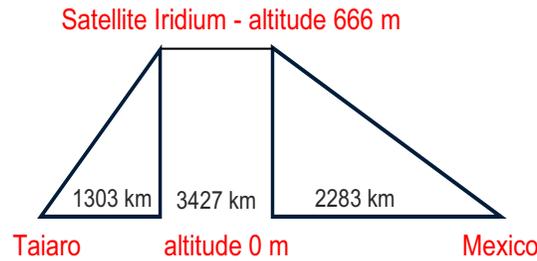
Le message de 176 octets est envoyé vers les satellites Iridium. La station MS est programmée pour réaliser jusqu'à 15 émissions, au cas où les satellites ne seraient pas à portée de Taiaro au début de cette étape du cycle.

Une fois la transmission terminée, comme les autres instruments, la station principale se met en veille (StBy), jusqu'au nouveau changement d'heure.

- 1 - Le temps de transfert d'un message de données physicochimiques de Taiaro de 176 octets selon un débit de 40 octet/s est de 4,4 s.
- 2- Le temps de transfert d'une image composée de 90 kOctets, soit 90 000 octets, est de 2250 s soit environ 36 min.
- 3- La vitesse des ondes radio étant de 300 000 km/s, un message devrait mettre 0,056 s pour parvenir aux scientifiques de Toulouse :

Les messages transitent par plusieurs satellites Iridium avant d'être reçus par une station de réception.

Exemple :  
En rouge : Taiaro (1), satellites Iridium 4 et 5 en relais.  
Les distances indiquées sur la carte sont les distances au sol, mais les satellites Iridium sont en altitude, tous sur des orbites à 666 km de hauteur.  
La station terrestre Iridium de réception la plus proche est ici située à Mexico.



Distance parcourue par le message de Taiaro à Mexico :

$$= \sqrt{(1303^2 + 666^2)} + 3427 + \sqrt{(2283^2 + 666^2)}$$
$$= 1463,3 + 3427 + 2378,2 = 7268,5 \text{ km}$$

Distance entre Mexico et Toulouse : 9500 km

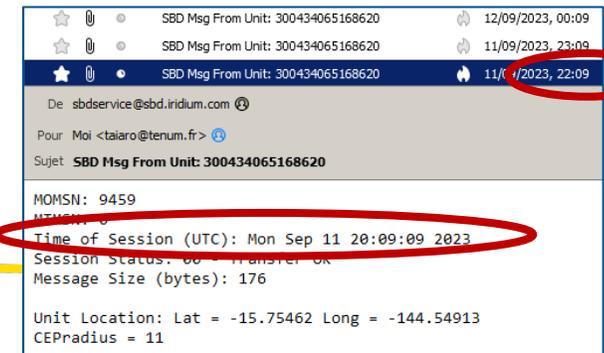
→ Distance totale 16800km

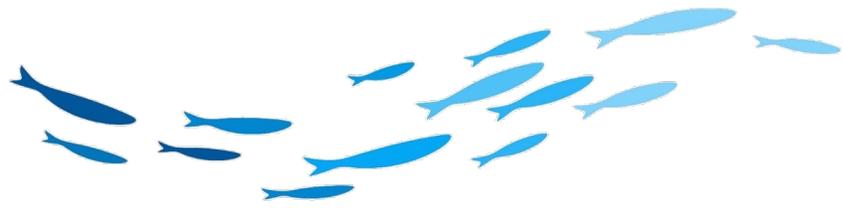
Temps radio (à la vitesse de la lumière) :

$$16800 / 300000 = 0,056 \text{ s}$$

### Comment expliquer le temps réellement mis (Cf l'email reçu par un(e) scientifique)

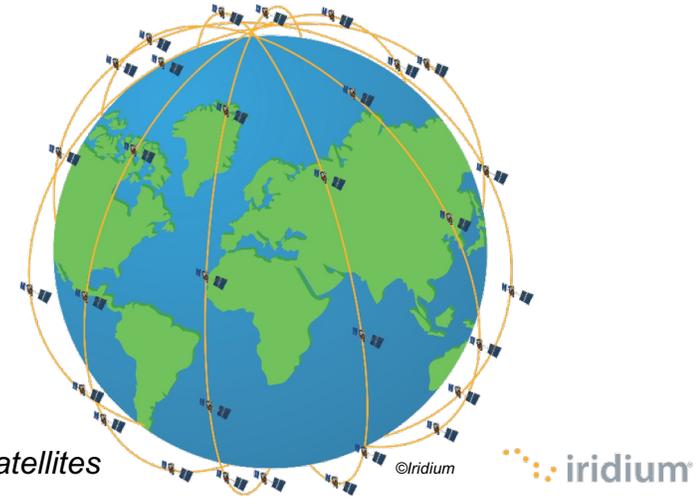
La capture d'écran de l'e-mail reçu à Toulouse indique une réception à 20:09:09, soit 9 secondes après le départ du message de Taiaro. Ce temps, très grand par rapport au trajet radio de 0,056 s, peut s'expliquer par le fait que le trajet n'est pas direct jusqu'à Toulouse : il y a des relais par des satellites de télécommunication géostationnaires à 36 000 km d'altitude, des transmissions par câbles et également des passages dans des serveurs dispersés géographiquement.



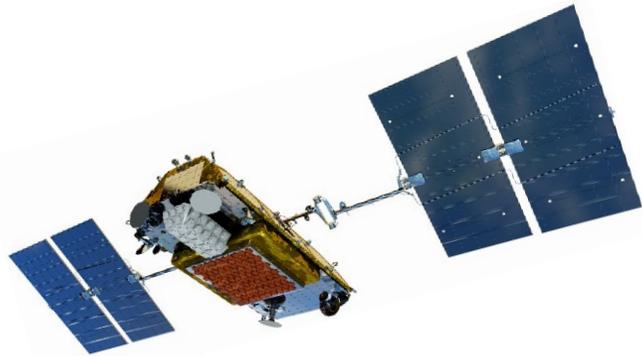


## Transmission par Iridium

La constellation Iridium a été déployée par les américains à partir des années 1990. Elle permet d'établir des communications téléphoniques depuis n'importe quel point du globe. Les 80 satellites sont sur des orbites basses (780 km d'altitude), quasi-polaires (passant « presque » par les pôles et permettant de couvrir des latitudes hautes). On peut suivre la position des satellites en direct sur ce site : <https://www.iridiumwhere.com/>



Constellation de satellites



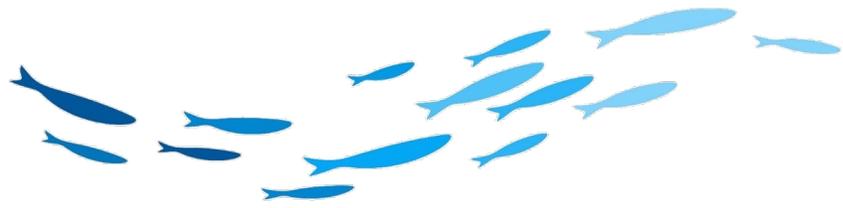
©Iridium

Iridium Next est la version évoluée (grâce aux nouvelles technologies) et permet d'envoyer des SBD (*Short Burst Data*) équivalent à nos SMS (*Short Message Service*), limités à 340 octets (ou caractères). C'est comme cela que les données des capteurs de Taiaro sont envoyées chaque heure.

Voir aussi l'infographie sur <https://www.iridium.com/network/> (en Anglais)

Il existe aussi un mode « Data illimitée » qui permet d'envoyer de plus gros fichiers. C'est ce mode qui est utilisé pour la station **Camera** qui doit envoyer des images et fichiers d'environ 90 Ko.

Pour bénéficier de ce service, il faut se procurer un modem (*périphérique informatique permettant de relier un ordinateur à un réseau téléphonique par exemple*) SBD Iridium, souscrire un abonnement mensuel et ensuite acheter des crédits de communication (en Kilo-octets).



# Principe de fonctionnement du GPS et du dGPS

Les satellites des constellations de géolocalisation GPS , GLONASS , GALILEO  BEIDOU  permettent aux récepteurs – comme ceux que nous avons dans les smartphones ou voitures par exemple – d’obtenir sa position sur Terre en **latitude, longitude, altitude** et **date et heure** très précises.

## ✓ Position absolue sur le globe

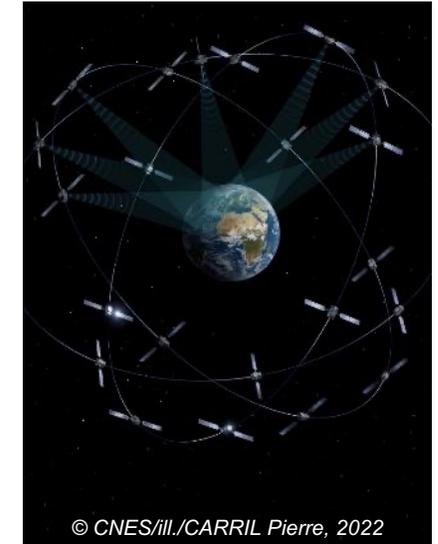
Un récepteur GPS reçoit des informations de la part des satellites via une onde radio : à un instant  $t_2$  – connu de façon précise, le récepteur reçoit un message de chaque satellite. L’instant  $t_1$  d’envoi du message est également connu de façon précise. En calculant le temps entre l’émission du satellite ( $t_1$ ) et la réception du signal ( $t_2$ ), le récepteur GPS peut connaître à quelles distances se trouvent les satellites au mètre près dans l’espace et, par triangulation, en déduire sa position sur le globe. 4 satellites au minimum sont nécessaires pour connaître sa position exacte.

## ✓ Référence de temps

Le récepteur calcule sa position en utilisant une référence de temps (date et heure) ultra-précise qui lui est envoyée par les satellites. Il est aussi possible d’utiliser cette horloge pour gérer des événements/des opérations à faire effectuer par des programmes informatiques. Par exemple, on peut faire démarrer des opérations au même moment sur différents appareils très éloignés les uns des autres mais qui utilisent cette même référence de temps.

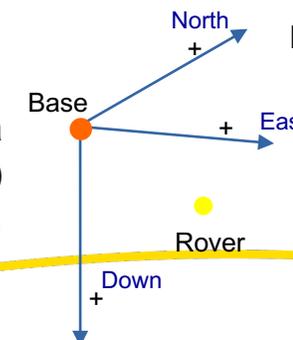
## ✓ Fonction complémentaire dite "GPS différentiel" (dGPS)

Le dGPS permet de mesurer une **position relative** de l’ordre du centimètre par rapport à un point de référence, appelé **BASE**. Concrètement, le dGPS en mode BASE (référence) envoie par radio des codes correcteurs à un ou des dGPS en mode ROVER (mobiles), qui peuvent alors calculer leur position centimétrique par rapport à leur base.



© CNES/ill./CARRIL Pierre, 2022

Constellation de satellites GALILEO en orbite à environ 23 000 km altitude



## Paramètres de positionnement dGPS

Le positionnement du ROVER est relatif à la BASE qui occupe le point 0 d'un repère orthonormé : Nord, Est, Bas (similaire au repère orthonormé X,Y,Z classique).

Exemple (en cm)  
North position = 50  
East position = 145  
Down position = 140