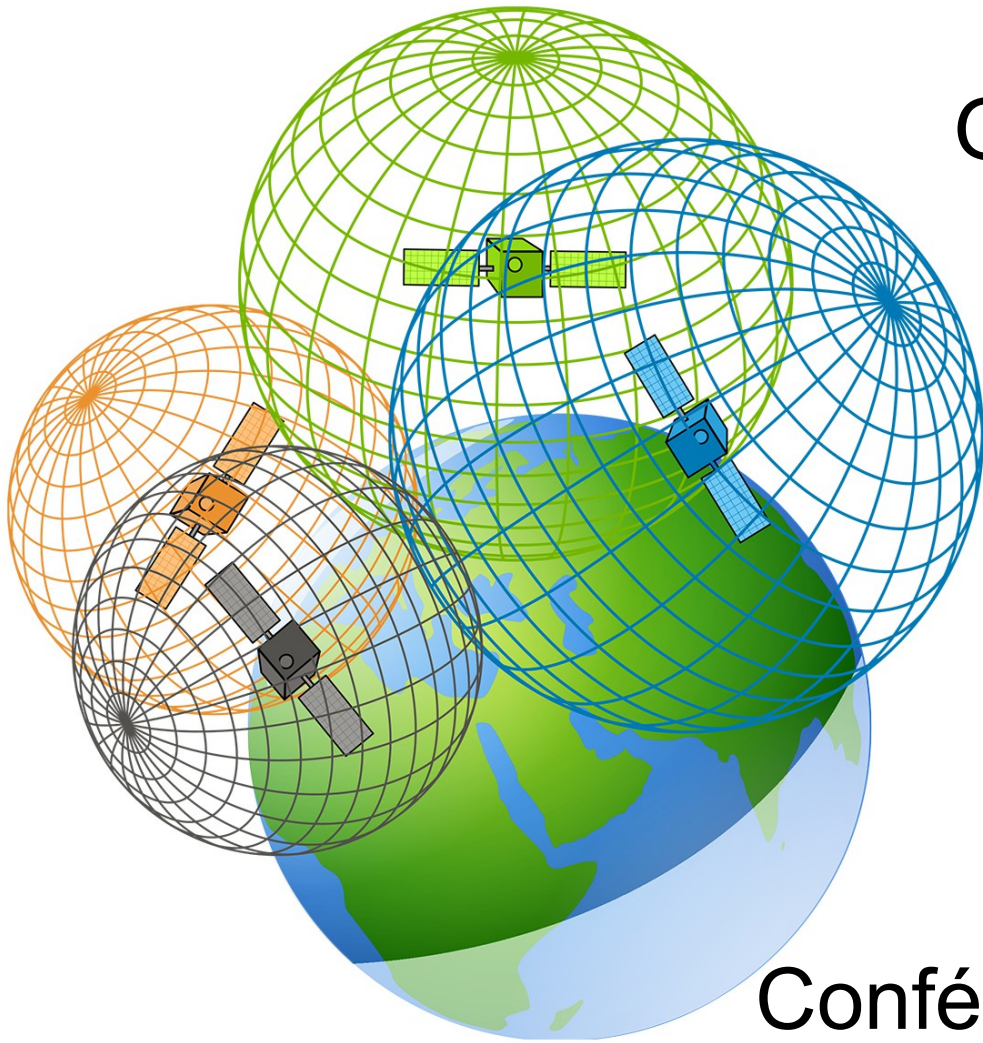
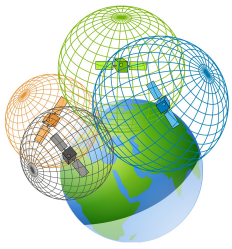


GPS comment ça marche, théorie et applications



Conférence Microclub 2.11.2018

Rolf Ziegler – Laurent Francey



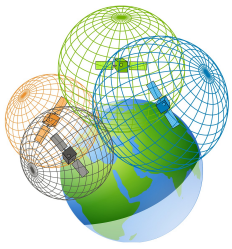
GPS, comment ça marche ?

Le système GPS permet de se situer où qu'on soit dans le monde.

Le GPS fonctionne avec une constellation de **30 satellites** en orbite autour de la Terre.

Chaque satellite envoie sur Terre des signaux qui comportent :

- la position dans l'espace du satellite
- l'heure et la date d'émission du signal

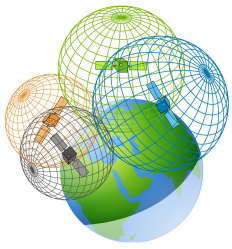


GPS, comment ça marche ?

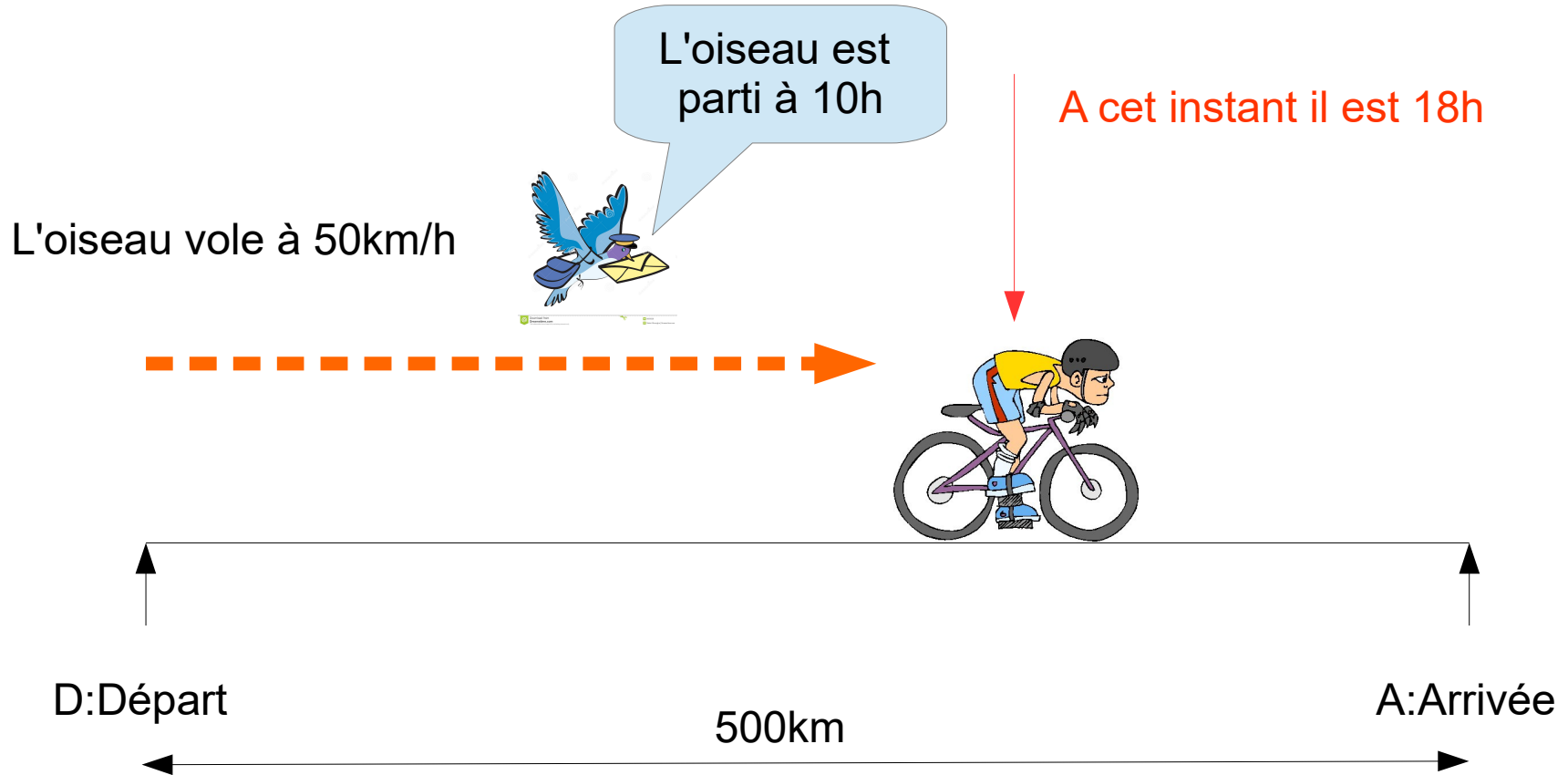
La position est calculée par la **trilatération** (similaire à la triangulation, mais n'utilisant qu'un calcul de distances, sans calcul d'angles).

Explications :

Imaginons que vous partez à vélo du point A au point B. Un oiseau part du point A à une vitesse de 50km/h pour vous apporter un message. Lorsqu'il vous rattrape, son message dit qu'il est parti à 10h00.

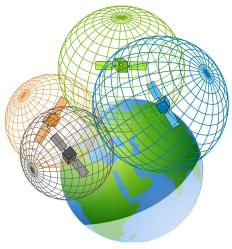


GPS, comment ça marche ?



Si l'oiseau est parti à 10h et qu'il est 18h, à la vitesse de 50km/h, il a donc parcouru 400km.

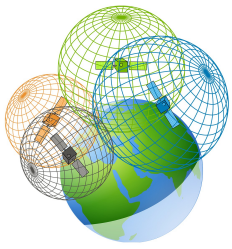
Le cycliste se trouve donc à 400km du départ et à 100km de l'arrivée !



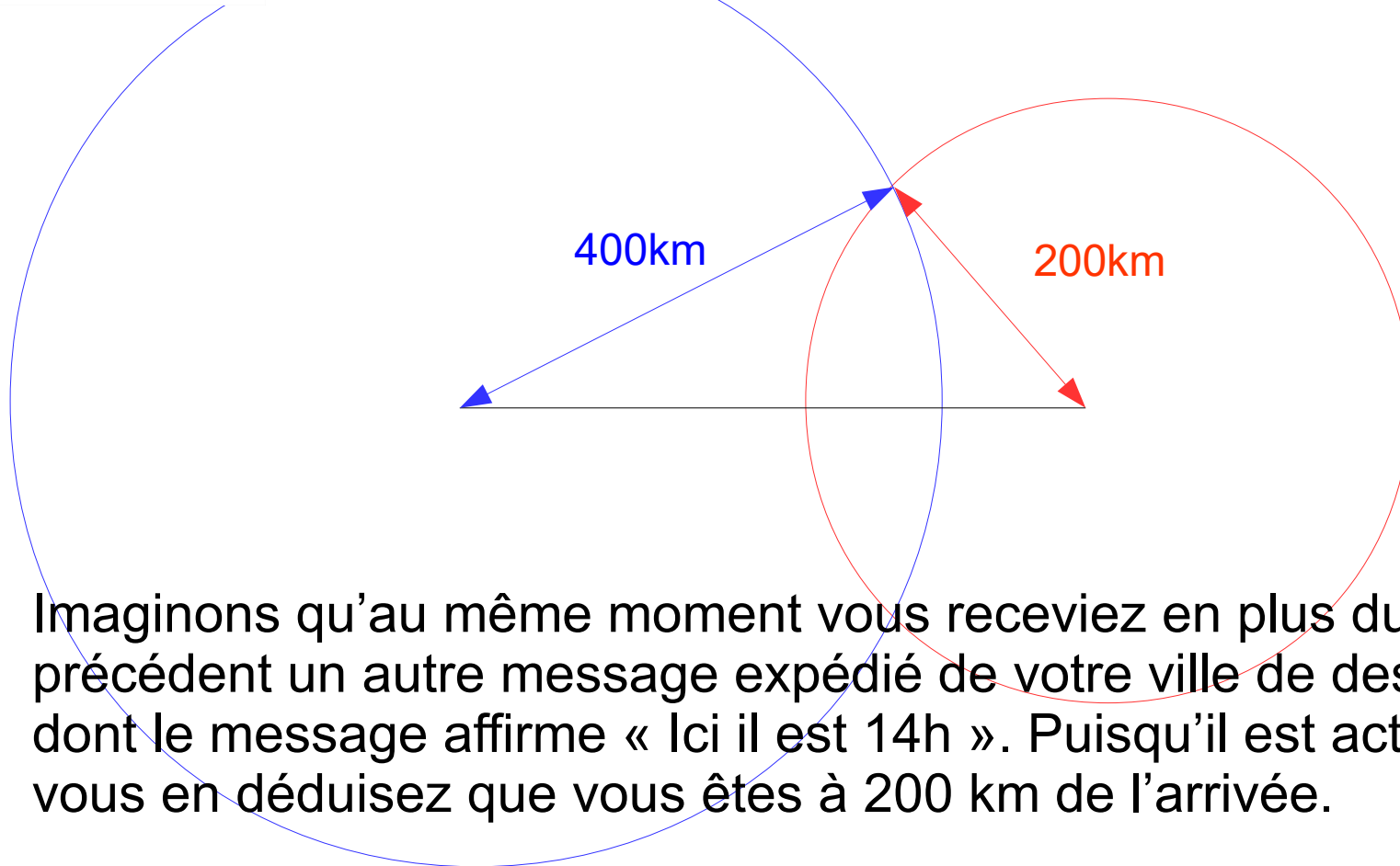
GPS, comment ça marche ?

Cet exemple simpliste illustre le principe du GPS :

Si on reçoit un message dont on sait d'où et quand il est parti, on peut en déduire où on se trouve, à condition de connaître sa vitesse de transmission.

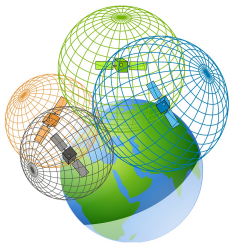


GPS, comment ça marche ?



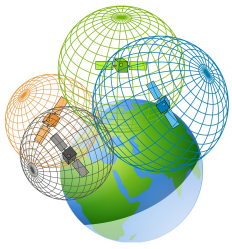
Imaginons qu'au même moment vous receviez en plus du message précédent un autre message expédié de votre ville de destination, et dont le message affirme « Ici il est 14h ». Puisqu'il est actuellement 18h vous en déduisez que vous êtes à 200 km de l'arrivée.

Vous êtes donc précisément à 400km de départ et 200km de l'arrivée. Pour trouver votre position exacte, il suffit de tracer des cercles centrés sur les villes comme l'illustre le schéma ci-dessus. C'est le principe de la trilatération.



GPS, comment ça marche ?

Comme vous le voyez sur le dessin, il existe deux endroits possibles, et pour savoir lequel des deux est le bon, il faudrait utiliser un troisième oiseau partant d'une troisième ville. D'ailleurs dans mon exemple, j'ai utilisé comme ville de basele départ et l'arrivée, mais ça n'est absolument pas nécessaire. Tant qu'on sait d'où partent les oiseaux, si on connaît leur distance parcourue on peut trianguler notre position.

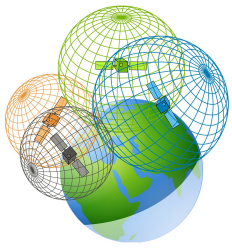


GPS, comment ça marche ?

Résumé :

Pour déterminer sa position il faut connaître les paramètres suivants :

- la position des satellites à l'instant « t »
- la vitesse de transmission
- l'heure exacte

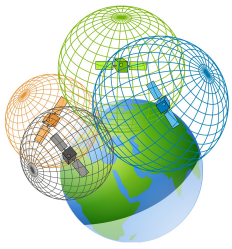


GPS, comment ça marche ?

Le système GPS :

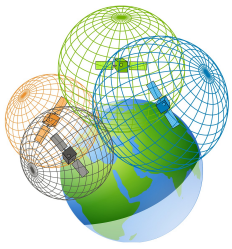
- 24 satellites en orbites autour de la terre, altitude $\sim 20'000\text{km}$.
- effectuent exactement 2 fois le tour de la terre par jour.
- toujours au moins 4 satellites visibles (~ 10)





GPS, comment ça marche ?

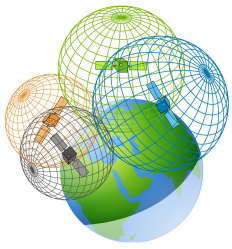
Chaque satellite contient une horloge atomique, et **émet en permanence** des messages sous formes d'ondes. Si on imagine que comme pour les oiseaux, ces messages contiennent leur heure d'émission, alors connaissant la vitesse de transmission des ondes (qui est celle de la lumière), on peut trianguler notre position et se situer par rapport aux satellites. C'est ce que fait votre petit boîtier de GPS !



GPS, comment ça marche ?

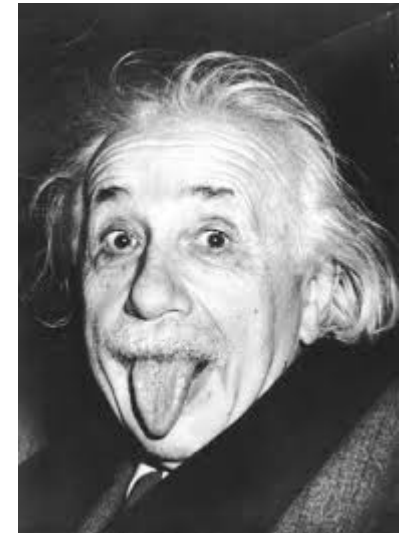
Quelle est la précision de l'horloge du satellite ?

le signal se propage à la vitesse de la lumière, soit 300 000 km/s, et avec un GPS on aimerait pouvoir se situer à 10 mètres près. Cette distance de 10 mètres est parcourue en 30 milliardièmes de secondes par le signal : l'horloge doit donc être précise à 30 nanosecondes ! Et pour atteindre cette précision dans l'horloge interne du satellite, nous avons besoin d'Einstein !

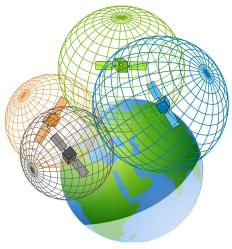


GPS, comment ça marche ?

Avec ses théories de la relativité restreinte et générale, Einstein a découvert que l'écoulement du temps cache quelques subtilités.



Premier élément à prendre en compte :
le temps est ralenti pour les objets en mouvement.
Nos satellites se déplacent à 14'000 km/h sur leur orbite, et on peut calculer qu'ils subissent un ralentissement du temps de 7 microsecondes par jour par rapport à nous.

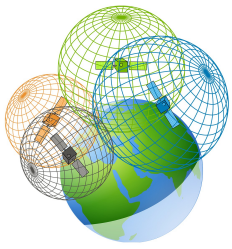


GPS, comment ça marche ?

Le deuxième effet est une conséquence de la théorie de la relativité générale :

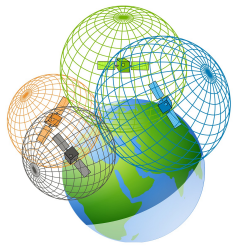
le temps s'écoule plus lentement dans un champ gravitationnel plus intense.

Or nos satellites sont en altitude, et l'attraction gravitationnelle qu'ils subissent est environ 20 fois plus faible que la nôtre. Cet effet fait que leur temps est accéléré de 45 microsecondes par jour par rapport au nôtre.



GPS, comment ça marche ?

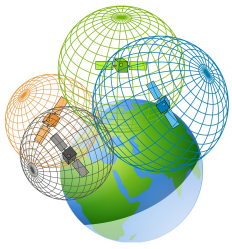
Si on fait la somme nette de ces deux corrections, le temps qui s'écoule à bord des satellites est accéléré chaque jour. En multipliant par la vitesse de la lumière, on voit que si on ne prenait pas en compte cet effet, l'indication du GPS se décalerait d'environ 10km par jour



GPS, comment ça marche ?

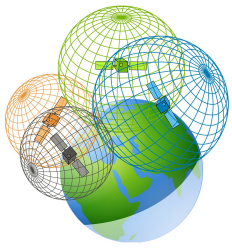
Mais il n'y a pas d'horloge atomique dans mon GPS ???

Pourtant il me donne ma position précise !



GPS, comment ça marche ?

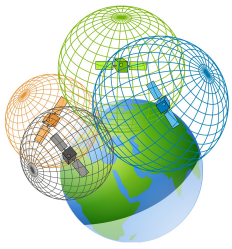
Ce qui se passe, c'est que le GPS utilise le signal d'au moins 4 satellites (au lieu de seulement 3), et triangule sa position dans l'espace-temps. Il n'a pas besoin de connaître le temps, il le déduit de la réception des signaux. Cela signifie que votre petit GPS peut également vous donner l'heure avec la précision d'une horloge atomique !



GPS, comment ça marche ?

Pour bien comprendre ceci, rendez-vous sur le site de notre confrères Dr Goulu !

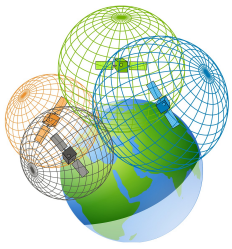
<https://www.drgoulu.com/2008/09/27/le-gps-pour-les-nuls-satellites-et-signaux/#.W9R9OkszaUk>



GPS, comment ça marche ?

Les trames renvoyées par le GPS sont codées selon la norme NMEA-0183

https://www.trimble.com/oem_receiverhelp/v4.44/en/NMEA-0183messages_MessageOverview.html



GPS, comment ça marche ?

Exemple d'application :

Convertisseur DCF-77

