LOCALISATION, CARTOGRAPHIE ET MOBILITÉ

Géolocalisation avec micro:bit

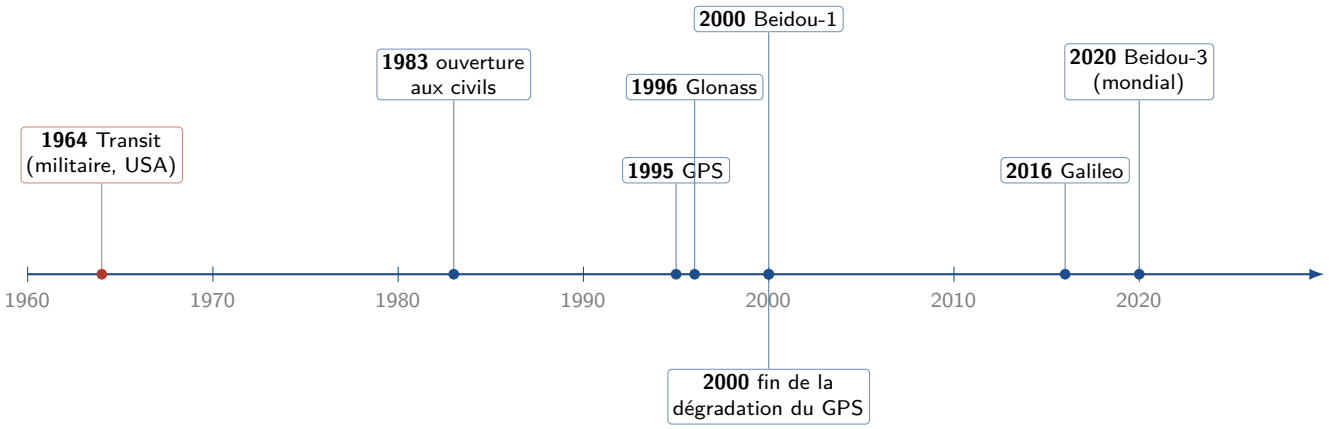
Satellites, trames GPS et vie privée

Nom : ..... Prénom : ..... Classe : .....

Objectif. Comprendre comment un récepteur GPS calcule sa position, lire les trames qu'il envoie, les exploiter avec une carte micro:bit, et contrôler les données de localisation que l'on partage.
Matériel. Une carte micro:bit et un module GPS Grove. Toutes les activités peuvent aussi être faites sur la page **Géolocalisation** de `https://www.webclasse.fr` : carte et module GPS simulés, lecteur de données EXIF, décodeur de trames.
Méthode. Lire chaque partie, répondre aux questions, puis relever les défis de la partie 6. Les encadrés « Aide » donnent la méthode des calculs.

1. Repères historiques

Se repérer grâce à des satellites : une technologie militaire devenue un outil du quotidien, présent dans chaque téléphone.



Aujourd'hui, un smartphone capte souvent plusieurs systèmes à la fois (GPS, Galileo, Glonass, Beidou) : il voit plus de satellites et se localise plus vite et plus précisément.

Questions

Q1. Combien d'années séparent la mise en service de Transit et l'ouverture aux civils ?

.....

Q2. Quel système de positionnement est européen ?

- ❑ GPS
- ❑ Glonass
- ❑ Galileo
- ❑ Beidou

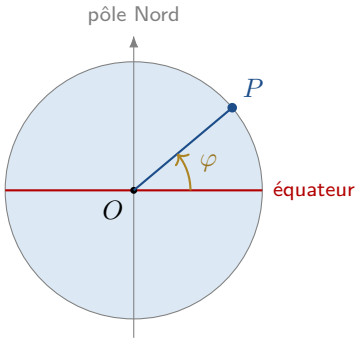
Q3. Jusqu'en 2000, pourquoi le GPS donnait-il aux civils une position moins précise qu'aux militaires ?

- ❑ Il n'y avait pas encore assez de satellites.
- ❑ L'armée américaine dégradait volontairement le signal destiné aux civils.
- ❑ Les récepteurs civils calculaient trop lentement.

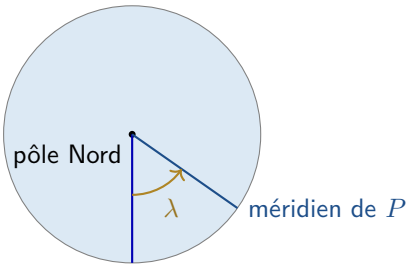
2. Les coordonnées géographiques

Pour repérer un point P sur la Terre, on donne deux angles mesurés depuis le centre O de la Terre (vidéo : `https://youtu.be/7RdJ4UAJK4o`) :

- **la latitude** : position nord-sud, de 0° sur l'équateur à 90° aux pôles (N au nord, S au sud) ;
- **la longitude** : position est-ouest, de 0° sur le méridien de Greenwich à 180° (E à l'est, O ou W à l'ouest).



Vue de côté : la **latitude** φ est l'angle entre l'équateur et OP



méridien de Greenwich (0°)

Vue du pôle Nord : la **longitude** λ est l'angle entre deux méridiens

À retenir — Degrés, minutes, secondes

Un degré se divise en 60 minutes (60′) et une minute en 60 secondes (60″), comme une heure.

- Degrés décimaux → degrés et minutes : $46{,}6267° = 46° + 0{,}6267 \times 60' = 46°\,37{,}60'$.
- Degrés et minutes → degrés décimaux : $46°\,37{,}60' = 46 + 37{,}60 \div 60 = 46{,}6267°$.
- En degrés décimaux, le sud et l'ouest sont notés avec un signe moins : $22{,}9°$ S $= -22{,}9°$.

Les trames GPS utilisent les degrés et minutes.

Savoir-faire : *convertir des coordonnées d'un format à l'autre.*

Questions

Q4. La latitude de Dijon est 47,3220° N. Écrire-la en degrés et minutes, comme dans les trames GPS.

> **Aide.** On sépare le nombre en deux morceaux, puis on transforme le second en minutes. **1.** Les degrés sont la partie entière, le nombre avant la virgule. **2.** On garde la partie après la virgule et on la multiplie par 60 : on obtient les minutes, car $1° = 60'$.
> **Exemple** avec 45,25° : les degrés sont 45 ; la partie après la virgule est 0,25 ; $0{,}25 \times 60 = 15$. Donc $45{,}25° = 45°\,15'$.

. . . . . .

. . . . . .

Q5. La longitude de Dijon s'écrit 5° 02,49′ E dans une trame GPS. Écrire-la en degrés décimaux (4 chiffres après la virgule).

> **Aide.** C'est le calcul inverse. **1.** On divise les minutes par 60, car $60' = 1°$. **2.** On ajoute le résultat aux degrés. **Exemple** avec 45° 15′ : $15 \div 60 = 0{,}25$, puis $45 + 0{,}25 = 45{,}25°$.

. . . . . .

. . . . . .

Q6. Un bateau se trouve à 0° de latitude et 0° de longitude. Où est-il ?

- ❑ Au pôle Nord.
- ❑ Dans le golfe de Guinée, au large de l'Afrique.
- ❑ À Greenwich, près de Londres.

❑ Au milieu de l'océan Pacifique.

3. Comprendre le principe : la chasse au trésor

Un coffre fermé par trois clés contient un trésor. Les trois clés ont été forgées dans trois villes différentes, **Auxerre**, **Mâcon** et **Nevers**, puis envoyées par drone, volant à **60 km/h**, vers un même lieu tenu secret. Les trois drones sont partis de leur ville en même temps, à **12 h 00** précises. Celui d'Auxerre est arrivé au lieu secret à **12 h 38**, celui de Mâcon à **14 h 35** et celui de Nevers à **13 h 08**. Retrouver sur la carte l'endroit où ont été déposées les trois clés.



Les trois drones

Ville	Durée	Distance
Auxerre	.....	.....
arrivée 12 h 38		
Mâcon	.....	.....
arrivée 14 h 35		
Nevers	.....	.....
arrivée 13 h 08		

Aide. À 60 km/h, un drone parcourt 60 km en 60 minutes : combien de kilomètres en une minute ?
Sur la carte, 1 cm représente 20 km : divise chaque distance par 20 pour obtenir le rayon du cercle à tracer au compas. Vérifie l'échelle : la barre de 50 km mesure 2,5 cm.

À retenir — La trilatération

Une seule distance place le point sur un cercle ; deux distances laissent deux points possibles ; avec trois distances, il ne reste qu'un seul point. On parle de **trilatération** : c'est une triangulation qui utilise des distances au lieu d'angles.

4. Sur le même principe : le positionnement par satellites

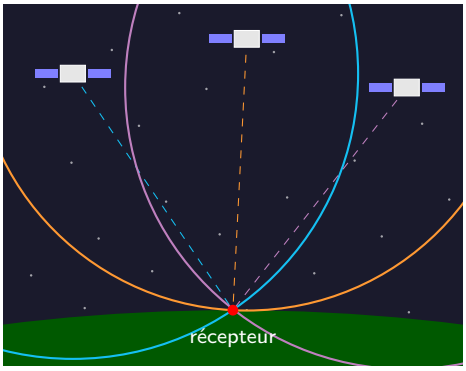
Un récepteur GPS fait la même chose que dans la chasse au trésor : il mesure sa distance à plusieurs satellites dont il connaît la position.

a. Position des satellites. Des antennes au sol (le segment de contrôle) suivent les satellites et leur transmettent leur position exacte.

b. Distance. Chaque satellite envoie un signal contenant l'heure exacte d'envoi et sa position. Le récepteur compare l'heure d'envoi à l'heure de réception : le signal voyage à la vitesse de la lumière (300 000 km/s), on en déduit la distance.

c. Trilatération. Avec les distances à 3 satellites, le récepteur calcule sa position.

d. Horloges. Les satellites ont des horloges atomiques, pas le récepteur. Une erreur de 30 milliardièmes de seconde suffit à fausser la position d'une dizaine de mètres : un 4e satellite permet de corriger l'horloge du récepteur. Les réflexions du signal sur les bâtiments créent aussi des erreurs.



Les trois cercles (distances aux satellites) se croisent au récepteur. Vue simplifiée, à plat.

Système	Pays	Couverture
GPS	États-Unis	mondiale
Galileo	Union européenne	mondiale
Glonass	Russie	mondiale
Beidou	Chine	mondiale
NavIC, QZSS	Inde, Japon	régionale

Vidéo : le fonctionnement de Galileo, `https://www.youtube.com/watch?v=e79tSIpLiDk`.

Questions

Q7. Un satellite GPS est à 20 200 km du récepteur. Son signal voyage à 300 000 km/s. Combien de temps met-il pour arriver ?

Q8. L'horloge du récepteur se trompe de 30 ns, soit 0,000 000 03 s. Quelle erreur cela fait-il sur la distance ? La lumière parcourt 300 000 000 m par seconde.

Q9. Pourquoi un récepteur a-t-il besoin d'au moins 4 satellites ?

- ❑ Pour connaître aussi l'altitude.
- ❑ Pour calculer et corriger l'erreur de sa propre horloge.
- ❑ Pour avoir un satellite de secours en cas de panne.

5. Lire une trame NMEA

Quand un récepteur GPS a calculé sa position, il envoie une **trame** : une ligne de texte qui regroupe l'heure, la latitude, la longitude, l'altitude… Pour que tous les appareils se comprennent, cette trame suit toujours la même forme, définie par la NMEA (National Marine Electronics Association). La plus utilisée est la trame **GGA**. Les données sont séparées par des virgules et les nombres décimaux utilisent le point.

```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

`$GPGGA`	**Type de trame**	GP : GPS ; GGA : données de position
`123519`	**Heure UTC**	12 h 35 min 19 s, en temps universel (UTC)
`4807.038,N`	**Latitude**	48° 07,038′ Nord : 2 chiffres de degrés, puis les minutes
`01131.000,E`	**Longitude**	11° 31,000′ Est : 3 chiffres de degrés, puis les minutes
`1`	**Qualité**	0 : pas de position ; 1 : position GPS ; 2 : position GPS corrigée
`08`	**Satellites**	nombre de satellites utilisés : 8
`0.9`	**Précision (HDOP)**	plus la valeur est petite, meilleure est la position
`545.4,M`	**Altitude**	545,4 m au-dessus du niveau de la mer
`46.9,M`	**Hauteur du géoïde**	écart entre le niveau moyen de la mer et la forme mathématique de la Terre
`,,`	**Correction différentielle**	deux champs vides ici
`*47`	**Somme de contrôle**	sert à vérifier que la trame n'a pas été abîmée pendant la transmission

Questions

On considère la trame :

```
$GPGGA,071005.289,4616.9979,N,00447.5561,E,1,03,3.2,400.8,M,,,,0000*0A
```

Q10. Donner l'heure du relevé, l'altitude et le nombre de satellites utilisés.

Heure UTC : ..... Altitude : ..... Satellites : .....

Q11. Donner la latitude et la longitude de ce relevé, en degrés et minutes puis en degrés décimaux (4 chiffres après la virgule).

> **Aide.** Dans la trame, la latitude et la longitude sont collées en un seul nombre : on doit le couper. **1. Latitude** (champ suivi de N ou S) : les **2 premiers chiffres** sont les degrés, le reste sont les minutes. **2. Longitude** (champ suivi de E ou W) : les **3 premiers chiffres** sont les degrés, le reste sont les minutes. **3. Degrés décimaux** : degrés + minutes ÷ 60.
> **Exemple** : 4807.038,N donne 48° et 07,038′, puis $48 + 7{,}038 \div 60 = 48 + 0{,}1173 = 48{,}1173°$ N.

Latitude : ..... = ... Longitude : ..... = ...

Q12. Ce relevé utilise 3 satellites et sa précision (HDOP) vaut 3,2. Que peut-on dire de cette position ?

❑ Elle est très précise : 3 satellites suffisent toujours.

❑ Elle est peu précise : 3 satellites, c'est le minimum, et un HDOP élevé signale une mauvaise disposition des satellites.

❑ Elle est fausse : il faut au moins 10 satellites.

Calculer une vitesse

Deux trames ont été capturées sur un smartphone pendant un trajet :

```
Trame n° 1 :  $GPGGA,071005.289,4616.9979,N,00447.5561,E,1,04,3.2,200.2,M,,,,0000*01
Trame n° 2 :  $GPGGA,074036.289,4645.3221,N,00449.9902,E,1,04,3.2,200.2,M,,,,0000*05
```

Pour mesurer la distance par la route, saisir les deux positions dans OpenStreetMap (ou un autre service de cartes) et demander l'itinéraire en voiture. Exemple de saisie : `46.2833, 4.7926`.

Questions

Q13. Quelle durée sépare les deux trames ? .....

> **Aide.** L'heure est le champ qui suit `$GPGGA` : 071005.289 se lit 07 h 10 min 05 s (on peut ignorer les millièmes). Faire de même pour la trame n° 2, puis calculer la différence.

Q14. Mesurer la distance par la route entre les deux points, puis calculer la vitesse moyenne de la personne en km/h.

Distance : ..... Vitesse : .....

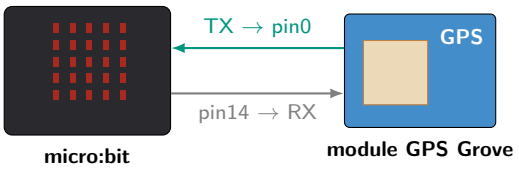
Aide. **1. La durée en heures.** 30 min 31 s = 30 × 60 + 31 = 1 831 s. Une heure dure 3 600 s, donc la durée en heures vaut 1 831 ÷ 3 600. **2. La vitesse.** vitesse = distance ÷ durée, avec la distance en km et la durée en heures : on obtient des km/h.

Q15. À vol d'oiseau, les deux points sont distants de 52,6 km. Pourquoi la vitesse calculée avec cette distance est-elle plus faible qu'avec la distance par la route ?

- ❑ La route n'est pas en ligne droite : on parcourt plus de kilomètres dans le même temps.
- ❑ Le GPS est trop imprécis pour mesurer une vitesse.
- ❑ La durée du trajet n'est pas la même.

6. La carte micro:bit et son module GPS

Le module GPS Grove est relié à la carte par une liaison série (UART) : son fil **TX** (émission) arrive sur `pin0`, son fil **RX** sur `pin14`. Chaque seconde, il envoie une salve de trames NMEA à 9600 bauds (bits par seconde).



⚠ **Ne pas modifier** les fonctions `ecoute_gps()` et `affiche(texte)` en haut du programme. Tant que la carte écoute le module, `print` envoie le texte sur `pin14` et non vers l'ordinateur : pour afficher quelque chose dans la console, écrire `affiche(...)`, jamais `print(...)`.

Programme de départ

```
from microbit import *

# Ne pas modifier ces deux fonctions !
def ecoute_gps():
    uart.init(baudrate=9600, tx=pin14, rx=pin0)

def affiche(texte):
    uart.init(baudrate=115200)    # vers l'ordinateur
    print(texte)
    ecoute_gps()

while True:
    ecoute_gps()
    ligne = uart.readline()
    if ligne:    # None tant que rien n'est arrivé
        trame = str(ligne, "UTF-8").strip()
        champs = trame.split(",")
        affiche(trame)
```

À retenir — Découper une trame

Dans la boucle `while True`, la carte lit une ligne envoyée par le module (une trame), puis la découpe à chaque virgule avec `trame.split(",")`. Les morceaux sont rangés dans la liste `champs` : `champs[0]` est le premier morceau, `champs[1]` le deuxième… On compte **à partir de 0**.

Champ	Valeur	Sens	Champ	Valeur	Sens
`champs[0]`	`$GPGGA`	type de trame	`champs[6]`	`1`	qualité (0 : pas de position)
`champs[1]`	`080512.000`	heure UTC	`champs[7]`	`08`	satellites
`champs[2]`	`4719.3200`	latitude	`champs[8]`	`1.0`	précision
`champs[3]`	`N`	N ou S	`champs[9]`	`245.0`	altitude
`champs[4]`	`00502.4900`	longitude	`champs[10]`	`M`	unité (mètres)
`champs[5]`	`E`	E ou W			

Savoir-faire : *extraire une information d'une trame découpée.*

Observer

Téléverser le programme de départ et observer la console.

1) Combien de lignes le module envoie-t-il environ chaque seconde ?

2) Par quoi chaque ligne commence-t-elle ? Combien de types de trames différents voit-on ?

3) Mettre le module à l'intérieur (bouton « À l'intérieur » du simulateur). Que deviennent les trames $GPGGA ?

Pour chaque défi, on ne modifie que la fin de la boucle, après `champs = trame.split(",")`. Écrire les lignes ajoutées ou modifiées.

★ Défi n° 1 — Le champ n° 0

Remplacer la dernière ligne `affiche(trame)` par `affiche(champs[0])`. Que contient `champs[0]` ? Essayer aussi `affiche(champs[1])`.

★ Défi n° 2 — Ne garder que les trames GGA

On ne veut afficher que les trames de position, celles dont le champ n° 0 vaut `"$GPGGA"`. Compléter la condition :

```
if champs[0] == ".........":
    affiche(trame)
```

En Python, `==` teste l'égalité. Le texte doit être écrit exactement, entre guillemets.

★ Défi n° 3 — L'heure

Dans une trame GGA, `champs[1]` contient l'heure. Modifier le programme pour afficher **seulement l'heure** de chaque trame GGA. *080512.000 se lit 08 h 05 min 12 s en temps universel (UTC) ; en France, on ajoute 1 h en hiver, 2 h en été.*

★ Défi n° 4 — Latitude et longitude

Afficher la latitude (`champs[2]`, avec sa lettre dans `champs[3]`) et la longitude (`champs[4]`, avec sa lettre dans `champs[5]`) de chaque trame GGA. *Le signe + colle des textes : `affiche("Heure : " + champs[1])` affiche par exemple « Heure : 080512.000 ».*

.....

.....

★ Défi n° 5 — Satellites et altitude

Afficher le **nombre de satellites** utilisés et l'**altitude** du module (chercher les numéros des champs dans le tableau).

.....

.....

.....

★ Défi n° 6 — Le voyant GPS

Sans ordinateur, comment savoir si le module a trouvé sa position ? Programmer la carte pour qu'elle affiche `Image.NO` (une croix) quand `champs[6]` vaut `"0"`, et `Image.YES` (une coche) sinon. *On affiche une image avec `display.show(Image.NO)` ; pour « sinon », on utilise `else:`.*

.....

.....

.....

.....

★ Défi n° 7 — En degrés décimaux (plus difficile)

On ajoute au programme la fonction suivante, qui transforme un champ de la trame en degrés décimaux, comme à la partie 5 :

```
def en_degres(valeur):
    nombre = float(valeur)           # 4616.9979
    degres = int(nombre / 100)       # 46
    minutes = nombre - degres * 100  # 16.9979
    return degres + minutes / 60
```

Afficher la latitude et la longitude du module en degrés décimaux. La condition `champs[6] != "0"` évite les champs vides quand le module n'a pas de position :

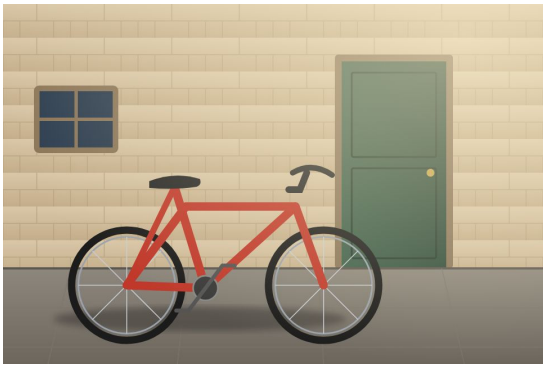
```
        if champs[0] == "$GPGGA" and champs[6] != "0":
```

.....

.....

Bonus (sur le simulateur) : faire défiler sur la carte la distance jusqu'au trésor de la partie 3, quand on appuie sur A.

7. Contrôler les données que j'envoie



Pour vendre mon vélo, j'ai mis une annonce en ligne. Un acheteur intéressé me demande des photos supplémentaires par courriel. Je les lui envoie… et le lendemain matin, mon vélo a disparu !

Un appareil photo enregistre dans chaque photo des données cachées : les **métadonnées EXIF**. Les lire avec le lecteur EXIF de la page Géolocalisation de `https://www.webclasse.fr` (partie 7), ou avec les propriétés du fichier.

Questions

Q16. Dans quelle ville la photo du vélo a-t-elle été prise ? .....

Q17. Quelles autres informations peut-on obtenir sur cette photo ?

.....

.....

Q18. Sur son téléphone, comment désactiver l'enregistrement de la position dans les photos ?

.....

.....

À retenir — Adresse IP et historique des positions

- Chaque appareil connecté à Internet a une **adresse IP**. Les sites visités la voient et peuvent en déduire une position approximative : en général la ville où le fournisseur d'accès raccorde la box ou l'établissement.
- Sur un smartphone, Google Maps peut enregistrer tous les déplacements : c'est la fonction « Vos trajets » (Timeline), autrefois appelée « Historique des positions ». Elle est désactivée par défaut, mais l'application propose souvent de l'activer. On peut la désactiver et effacer les données depuis les paramètres de l'application ou du compte Google. D'autres applications (réseaux sociaux, météo, jeux…) demandent aussi l'accès à la position.

Question

Q19. Que penser de l'enregistrement de tous ses déplacements par une application ? Donner un avantage et un risque.

.....

.....

.....

.....