

## SOLUTION D'EXAMEN DE SYSTEME DE RADIONAVIGATION

Responsable : Dr. Hadeif Mahmoud

### Exercice 01 (9 points) :

1. Six sources d'erreurs dans le positionnement par satellite : **(3 points)**
  - Ionosphère
  - Multi-trajectoire (Multipath)
  - Géométrie des satellites
  - Horloge des Satellite
  - Effets relativistes
  - Bruit du récepteur
  - Troposphère
2. Les sous-trames des paramètres **(2 points)**
  - Les paramètres d'Ephémérides → **2 et 3**
  - Almanac → **4 et 5**
  - Modèle Ionosphérique → **4**
  - Corrections d'Horloge → **1**
3. L'image ci-dessous représente **la procédure d'acquisition (2 points)**

l'acquisition est une procédure de recherche des coordonnées du retard de code et du fréquence Doppler du signal satellite reçu (dans ce cas du satellite avec PRN =14). Dans cette figure l'axe x représente le retard de code qui varie entre 0 et 1023 chips et l'axe y qui représente la fréquence du Doppler qui varie entre -5KHz et + 5KHz. Une crête dominante avec un rapport signal sur bruit (SNR) de 17.08 dB est clairement visible avec un retard de code de 459.8185 chips et d'une fréquence Doppler du 976.56Hz.

4. Expliquer les deux procédures Delay Lock Loop (DLL) et Frequency Lock Loop (FLL) utilisées pour poursuivre (*tracking*) un signal GPS acquis? **(2 point)**

Après l'acquisition d'un signal GPS on a deux paramètres pour poursuivre : le retard ou décalage du code et la fréquence du Doppler. Pour cela on a besoin de deux boucles DLL Delay Lock Loop et FLL Frequency Lock Loop ou PLL Phase Lock Loop. Les boucles utilisent en fait deux corrélateurs supplémentaires: avancée et en retard qui sont des répliques retardées et avancées du code acquis. La différence entre les deux corrélateurs produit une estimation de l'erreur actuelle, qui est ensuite renvoyée pour corriger l'estimation précédente du retard de code ou du fréquence entrant.

### Exercice 02 (11 points)

Le système de radionavigation GPS est un moyen très fiable pour déterminer la position géographique. Dans cet exercice, nous nous concentrons sur l'aspect mathématique du fonctionnement du GPS.

1. Le système d'équation nécessaire pour calculer la position du récepteur  $A(x,y)$  **(3 points)**

$$\begin{cases} (x - 3)^2 + (y - 3)^2 = (t - (4 - \sqrt{5}))^2 & (1) \\ (x - 3)^2 + (y - 4)^2 = (t - (4 - 2\sqrt{2}))^2 & (2) \\ (x - 1)^2 + (y - 4)^2 = (t - 2)^2 & (3) \end{cases}$$

2. On a besoin au minimum de trois satellites GPS pour déterminer la position deux dimensions (2D) → Le troisième satellite pour déterminer l'erreur en temps de réception **(1.5 points)**
3. Calculer les coordonnées (x,y) du récepteur **A** sachant que le récepteur **A** se positionne quelque part sur le périmètre du cercle qui a comme point d'origine (1,1) et un rayon R=1m

On connaît que le point A(x,y) appartient au cercle

$$(x - 1)^2 + (y - 1)^2 = 1 \quad (4) \quad \textbf{(1 point)}$$

$$(1)-(2) \rightarrow (y - 2) = (\sqrt{5} - 2\sqrt{2})(t - 4) \quad (5)$$

$$(3)-(4) \rightarrow -6(y - 2) = t(t - 4) \quad (6)$$

$$(2)-(3) \rightarrow 2(x - 1) = (t - 4) \quad (7)$$

En remplaçant (5) dans (6) on trouve

$$(t - 4) \left( t + 6(\sqrt{5} - 2\sqrt{2}) \right) = 0$$

Donc soit  $t = 4$  ou  $t = -6(\sqrt{5} - 2\sqrt{2})$

Pour  $t = 4$  en remplaçant la valeur du t dans (5) et (7) on trouve

$$y = 2 \text{ et } x = 1$$

Il faut vérifier que cette solution **(1,2)** avec **t=4** est correcte **(0.5 point)**

$$\begin{cases} (1 - 3)^2 + (2 - 3)^2 = (4 - (4 - \sqrt{5}))^2 & (1) \\ (1 - 3)^2 + (2 - 4)^2 = (4 - (4 - 2\sqrt{2}))^2 & (2) \\ (1 - 1)^2 + (2 - 4)^2 = (4 - 2)^2 & (3) \\ (1 - 1)^2 + (2 - 1)^2 = 1 & (4) \end{cases}$$

Pour  $t = -6(\sqrt{5} - 2\sqrt{2})$  en remplaçant la valeur du t dans (5) et (7) on trouve

$$y = (\sqrt{5} - 2\sqrt{2})(-6(\sqrt{5} - 2\sqrt{2}) - 4) + 2 \text{ et } x = -3(\sqrt{5} - 2\sqrt{2}) - 1$$

mais ce point A(x,y) n'appartient pas au cercle  $(x - 1)^2 + (y - 1)^2 = 1$  **(0.5 point)**

donc la solution est unique **A(1,2)** **(2 points)**

4. donc pour x=1 et y=2 on a **t=4** **(1 point)**

$$\text{pour le satellite S4 on a } (x + 1)^2 + (y - 3)^2 = (t - t_e)^2 \quad (8) \quad \textbf{(0.5 point)}$$

en remplaçant A(1,2) et t=4 dans (8) on trouve

$$(1 + 1)^2 + (2 - 3)^2 = (4 - t_e)^2 \rightarrow (4 - t_e)^2 = 5$$

$$\text{puisque } t_e < t \text{ ( } t_e < 4 \text{ ) donc } \mathbf{t_e = 4 - \sqrt{5}} \quad \textbf{(1 point)}$$