



SEQUENCE 10

SCIENCES DE L'INGENIEUR

Formule 1, télémétrie et Big Data

ETUDE
DE CAS

1 – Présentation

Durant une course de Grand Prix, une Formule 1 ne génère pas moins de 20 Go de données. Ces données sont ensuite analysées par les ingénieurs pour modifier les paramètres qui amélioreront la performance de la voiture lors de la prochaine course.

Quelques 1000 informations sont relevées toutes les secondes par 500 capteurs placés dans le moteur, bien sûr, mais aussi dans les ailerons, les roues, le châssis, la boîte de vitesse... Autant de données qu'un ingénieur surveille

en temps réel depuis un écran dans le stand, et que d'autres ingénieurs dépouilleront et analyseront après la course.



Source : <http://business-analytics-info.fr/>

L'ensemble de ces données est stocké au fur et à mesure des acquisitions et elles sont transmises au stand lorsque la voiture passe devant. La mémoire se réinitialise alors (elle se vide pour recevoir les nouvelles données du nouveau tour qui commence).

Parmi tous les facteurs ayant une influence sur les performances du véhicule, nous allons nous intéresser à celui lié au **changement de vitesse**. Les changements de vitesse durent moins de 0,1 seconde et, sur cette durée, la puissance du moteur n'est plus transmise aux roues motrices (les roues arrières). Cela implique une perte de vitesse de la voiture qu'il faut minimiser au maximum.

Pour analyser tout cela, on acquiert le régime moteur avec un capteur de vitesse à chaque changement de vitesse. L'information acquise, comme les autres, est numérisée et stockée en mémoire dans la voiture et transmise aux stands lorsque la voiture passe devant.

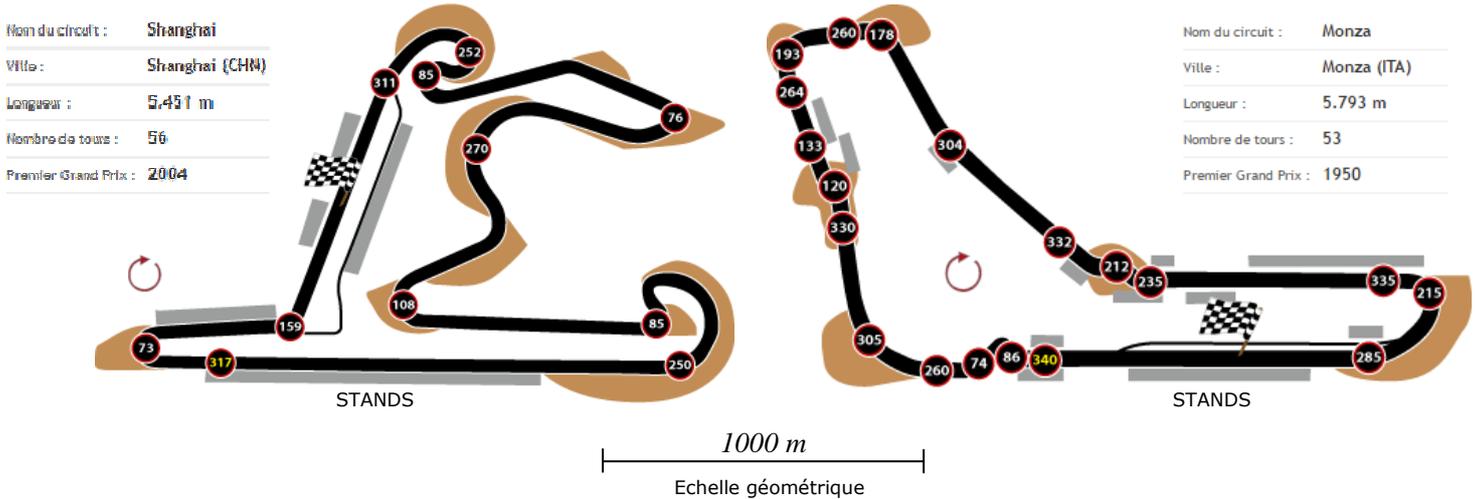
2 – Problématique

On se propose de bien régler la fréquence d'échantillonnage F_e (Hz) et la résolution R (bits) de cette numérisation ; en effet, R et F_e doivent être suffisantes pour disposer d'une information précise et exploitable, mais elles ne doivent pas non plus être trop élevées sinon le volume de données pourrait être trop important.

Votre travail va donc consister à définir la fréquence d'échantillonnage F_e (Hz) et la résolution R (bits)...

3 – Données complémentaires

- Le capteur de vitesse utilisé délivre une tension électrique analogique sur une plage de 0 à 12 V.
- Le capteur de vitesse a un comportement linéaire.
- L'étalonnage du capteur donne $U(0 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}) = 0 \text{ V}$ et $U(18000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}) = 12 \text{ V}$.
- L'étude du changement de rapport se fait sur une durée de 0,1 s
- On considère que sur un tour de circuit, le pilote réalise 60 changements de rapport.
- On ne considère que deux circuits dont voici les principales caractéristiques :



- Borne de réception pour le transfert de données « voiture \Rightarrow stand » : elle est placée au milieu des stands, son rayon d'action est de 300 m et sa bande passante (débit) est $Q_{borne} = 70 \text{ Mo} \cdot \text{s}^{-1}$.

4 – Travail demandé

PARTIE A

Vérification de la compatibilité du débit de données nécessaire (transfert « voiture \Rightarrow stands ») avec celui de la borne de réception

Cette partie a aussi pour objectif de bien vous faire comprendre le contexte du travail qui vous attend en partie B..

Q1 – Donner le sens de rotation des voitures sur les circuits horaire anti-horaire

Q2 – Mesurer en *cm* sur l'échelle géométrique la distance utilisée pour représenter 1000 m :
_____ *cm mesurés* \Leftrightarrow 1000 m réels

Q3 – En déduire en $m \cdot \text{cm}^{-1}$ l'échelle géométrique utilisée sur les figures :
Echelle géométrique : _____ $m \cdot \text{cm}^{-1}$

Q4 – Rappeler le volume de données qui est transmis de la voiture aux stands sur la totalité d’une course :

$$\text{VOLUME DE DONNEES} \quad : \quad V = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Go}$$

Q5 – Rappeler le nombre de tours d’une course pour les circuits :

$$N_{\text{CHANGAI}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ tr} \quad | \quad N_{\text{MONZA}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ tr}$$

Q6 – Calculer le volume de données à transférer à chaque tour de la voiture aux stands :

☞ On admet ici que le volume global est le même pour les deux circuits.

$$V_{\text{CHANGAI}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Go} \cdot \text{tr}^{-1} \quad | \quad V_{\text{MONZA}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Go} \cdot \text{tr}^{-1}$$

Q7 – Convertir le volume de données en $Mo \cdot \text{tr}^{-1}$:

$$V_{\text{CHANGAI}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Mo} \cdot \text{tr}^{-1} \quad | \quad V_{\text{MONZA}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Mo} \cdot \text{tr}^{-1}$$

Q8 – Identifier à l’aide d’une petite croix sur les vues des circuits les bornes de réception des données.

Q9 – Tracer sur les vues des circuits les rayons d’action des bornes de réception des données.

Q10 – Compléter le tableau :

Circuit	Longueur de piste couverte par le réseau		Vitesse ($m \cdot s^{-1}$)			Temps de parcours sur la base de la vitesse moyenne (s)
	Mesurée (cm)	Réelle (m)	Initiale	Finale	Moyenne	
Shangai						
Monza						

Calculs nécessaires ici : _____

Q11 – Calculer le débit du flux de données allant de la voiture aux stands.

$$Q_{\text{CHANGAI}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Q_{\text{MONZA}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Q_{\text{CHANGAI}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Mo} \cdot \text{s}^{-1} \quad | \quad Q_{\text{MONZA}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Mo} \cdot \text{s}^{-1}$$

Q12 – Calculer en % les taux d’utilisation de la bande passante de la borne de réception et conclure.

$$Tu_{\text{CHANGAI}} = \underline{\hspace{2cm}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\hspace{1cm}} \text{ OK} \quad \boxed{\hspace{1cm}} \text{ PAS OK}$$

$$Tu_{\text{MONZA}} = \underline{\hspace{2cm}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\hspace{1cm}} \text{ OK} \quad \boxed{\hspace{1cm}} \text{ PAS OK}$$

PARTIE B

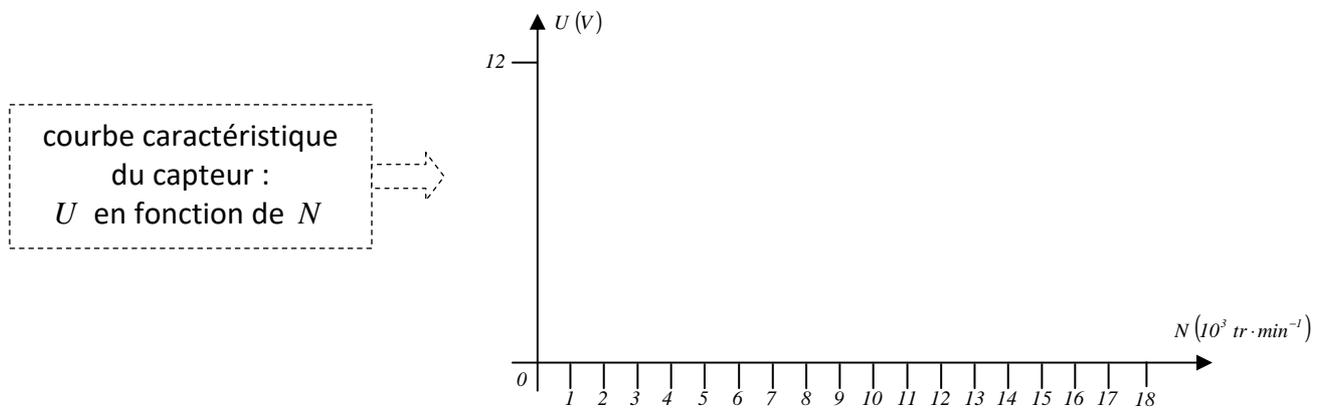
Numérisation de l'information des changements de vitesse

On admettra dans cette partie qu'un changement de vitesse correspond à une baisse du régime moteur. C'est elle qui est tracée sur les Documents Réponse DR1 et DR2.

Q1 – D'après les données, le capteur a un comportement linéaire ; sa courbe caractéristique est donc :

- une droite une parabole une hyperbole une sinusoïde

Q2 – Tracer en vert la courbe caractéristique du capteur $U(N)$. (utiliser les valeurs d'étalonnage)



Q3 – Donner l'équation de cette courbe caractéristique.

Dans toute la suite, on limite l'analyse des changements de vitesse au régime moteur suivant :

$$7500 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1} \leq N \leq 12000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$$

Q4 – Calculer pour chacune des limites la tension électrique délivrée par le capteur :

☞ Arrondir les valeurs à l'entier le plus proche.

$U(7500) =$ _____

$U(12000) =$ _____

☞ S'assurer que les résultats trouvés correspondent aux valeurs données sur les DR1 et DR2 (voir l'axe des ordonnées).

Q5 – Tracer sur l'axe des ordonnées de la courbe caractéristique (Q2) la valeur des tensions $U(7500)$ et $U(12000)$ et repasser en gras et en couleur le segment de la droite correspondant à la zone d'acquisition.

Ca y est, nous voilà prêts à faire le gros du travail sur les DR1 et DR2 !

Vous allez échantillonner les signaux à différentes fréquences F_e et résolutions R données pour bien comprendre à quoi correspondent F_e et R et, ensuite, déterminer un bon couple $\{F_e ; R\}$...

Q6 – Déterminer en $mm \cdot s^{-1}$ l'échelle de l'axe du temps (abscisse) donné sur le **DR1**.

_____ Echelle des temps : _____ $mm \cdot s^{-1}$

Q7 – Identifier précisément sur le **DR1** le début et la fin du changement de vitesse (faire deux points sur la courbe).

Q8 – Déterminer la durée effective du changement de vitesse.

Q9 – Tracer sans trop appuyer au crayon à papier sur le **DR1** les segmentations suivantes :

- axe du temps (abscisse) correspondant à une fréquence d'échantillonnage $F_e = 100$ Hz,
- axe de la tension (ordonnée) correspondant à une résolution (ou quantification) $R = 2, 3$ et 4 bits.

Q10 – Tracer en rouge sur le **DR1** le signal numérique obtenu en considérant $F_e = 100$ Hz et $R = 2$ bits.

Q11 – Tracer en rouge sur le **DR2** le signal numérique en considérant $F_e = 200$ Hz et $R = 2$ bits.

Q12 – Pour ces deux cas de figure, calculer en octets (o) le poids des données collectées sur 0,1 seconde.

$P(100 \text{ Hz}, 2 \text{ bits}) =$ _____

$P(200 \text{ Hz}, 2 \text{ bits}) =$ _____

Q13 – Conclure au regard de la qualité de la numérisation du signal :

Augmenter la fréquence d'échantillonnage F_e a un effet : nul modeste important

Q14 – Tracer en vert sur le **DR1** le signal numérique en considérant $F_e = 100$ Hz et $R = 3$ bits.

Q15 – Tracer en bleu sur le **DR1** le signal numérique en considérant $F_e = 100$ Hz et $R = 4$ bits.

Q16 – Pour ces deux cas de figure, calculer en octets (o) le poids des données collectées sur 0,1 seconde.

$P(100 \text{ Hz}, 3 \text{ bits}) =$ _____

$P(100 \text{ Hz}, 4 \text{ bits}) =$ _____

Q17 – Tracer en vert sur le **DR2** le signal numérique en considérant $F_e = 200$ Hz et $R = 3$ bits.

Q18 – Tracer en bleu sur le **DR2** le signal numérique en considérant $F_e = 200$ Hz et $R = 4$ bits.

Q19 – Pour ces deux cas de figure, calculer en octets (o) le poids des données collectées sur 0,1 seconde.

$P(200 \text{ Hz}, 3 \text{ bits}) =$ _____

$P(200 \text{ Hz}, 4 \text{ bits}) =$ _____

Q20 – Conclure au regard de la qualité de la numérisation du signal :

Augmenter la résolution R a un effet : nul modeste important

Faisons maintenant le nécessaire pour choisir un couple « F_e ; R » qui va bien...

Q21 – Rappeler le volume de données à transférer à chaque tour de la voiture aux stands :

$$V_{CHANGAI} = \text{_____ } Mo \cdot tr^{-1} \quad | \quad V_{MONZA} = \text{_____ } Mo \cdot tr^{-1}$$

Q22 – Rappeler le nombre total de données acquises par l'ensemble des capteurs :

$$n = \text{_____ } \text{données} \text{ dont } \text{_____} \text{ juste dans le moteur}$$

Q23 – En considérant un partage équitable de la mémoire pour stocker le plus important des volumes de données ($V_{CHANGAI}$ ou V_{MONZA}) à chaque tour, calculer en Mo l'espace de stockage q alloué pour chacune des n données : _____

$$q = \text{_____ } Mo$$

Q24 – Rappeler le nombre de changements de vitesse qu'un pilote fait sur un tour de circuit : $\lambda =$ _____

Q25 – Compléter le tableau de synthèse suivant :

Fréquence F_e (Hz)	Résolution R (bits)	Poids des données pour...		% q
		1 changement de vitesse (o)	λ changements de vitesse (Mo)	
100	2			
	3			
	4			
200	2			
	3			
	4			

Force est de constater qu'on a de la marge ; cela dit, même pour $F_e = 200$ Hz et $R = 4$ bits, la qualité de la numérisation est somme toute médiocre.

Q26 – On fixe la résolution à 64 bits. Calculer la fréquence d'échantillonnage qui permettra d'utiliser au mieux la mémoire allouée.

$$F_e = 100 \text{ Hz}$$

Résolutions envisagées

4 bits 3 bits 2 bits

$u \text{ (V)}$

8

Signal analogique

5

0

$t \text{ (} 10^{-1} \text{ s)}$

1

$F_e = 200 \text{ Hz}$

