

EXAMEN FINAL

Instructions : – Une feuille aide-mémoire recto verso manuscrite est permise ;
 – Durée de l'examen : 1 h 50.

Pondération : Cet examen compte pour 25% de la note finale.

Aide-mémoire

Combinatoire

- Factorielle de n : $n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n$ ($0! = 1$)
- Choisir k parmi n , selon un certain ordre (arrangement) : $A_n^k = \frac{n!}{(n-k)!}$
- Choisir k parmi n , sans ordre (combinaison) : $\binom{n}{k} = \frac{A_n^k}{k!} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$

Loi exponentielle

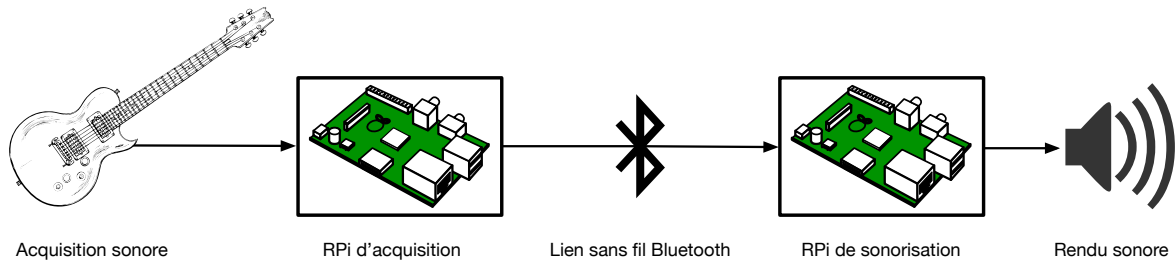
- Densité de probabilité : $p(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$, pour $t \geq 0$
- Loi de répartition : $P(X \leq t) = 1 - \exp(-\lambda t)$, pour $t \geq 0$
- Espérance : $\mathbb{E}(t) = \frac{1}{\lambda}$
- Variance : $\text{Var}(t) = \frac{1}{\lambda^2}$

Théorie des files d'attente

Modèle	$M/M/1$	$M/M/m$	$M/M/\infty$	$M/M/1/K$
Utilisation (ρ)	$\frac{\lambda}{\mu}$	$\frac{\lambda}{m\mu}$	$\frac{\lambda}{\mu}$	$\frac{\lambda}{\mu}$
Probabilité d'aucune tâche (π_0)	$1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \rho$	$\left[1 + \sum_{n=1}^{m-1} \frac{(m\rho)^n}{n!} + \frac{(m\rho)^m}{m!} \frac{1}{1-\rho}\right]^{-1}$	$\exp(-\rho)$	$\left[1 + \sum_{n=1}^K (\lambda/\mu)^n\right]^{-1} = \frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}}$
Probabilité de n tâches (π_n)	$(1-\rho)\rho^n$	$\pi_0 \frac{(m\rho)^n}{n!}$ pour $1 \leq n \leq m$ $\pi_0 \frac{m^m}{m!} \rho^n$ pour $n > m$	$\exp(-\rho) \frac{\rho^n}{n!}$	$\frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}} \rho^n$ pour $0 \leq n \leq K$ 0 pour $n > K$
Taille moyenne de la file ($\mathbb{E}(X)$)	$\frac{\rho}{1-\rho}$	$\sum_{n=0}^{\infty} n\pi_n = m\rho + \frac{(m\rho)^m}{m!} \frac{\rho}{(1-\rho)^2} \pi_0$	ρ	$\frac{\rho}{1-\rho^{K+1}} \left[\frac{1-\rho^K}{1-\rho} - K\rho^K \right]$
Temps système moyen ($\mathbb{E}(S)$)	$\frac{1/\mu}{1-\rho}$	$\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu} \frac{(m\rho)^m}{m!} \frac{\pi_0}{m(1-\rho)^2}$	$\frac{1}{\mu}$	$\frac{\mathbb{E}(X)}{\lambda(1-\pi_K)}$

Question 1 (52 points sur 100)

Soit le contexte du laboratoire 5 du cours, avec un système d'acquisition sonore et transmission sans fil basé sur deux *Raspberry Pi* (RPi) et un lien de communication Bluetooth.



Supposons la caractérisation suivante du système :

- Temps d'acquisition du son de $T_{\text{acq}} = 30 \text{ ms}$;
- Temps de traitement et transmission sur le RPi d'acquisition de $T_{\text{send}} = 50 \text{ ms}$;
- Lien sans fil Bluetooth avec bande passante de $B = 80 \text{ ko/s}$;
- Temps de propagation pour transmettre 1 bit sur le lien sans fil de $T_{\text{delay}} = 20 \text{ ms}$;
- Temps de réception et traitement sur le RPi de sonorisation de $T_{\text{recv}} = 40 \text{ ms}$;
- Temps de rendu sonore sur les haut-parleurs de $T_{\text{play}} = 20 \text{ ms}$.

- (5) (a) Supposons un lien sans fil orienté flot (datagram), où le son est transmis immédiatement sur le lien réseau aussitôt que la donnée est disponible, dans un flot continu. Déterminez la latence bout à bout du système, entre le moment où un son produit par l'instrument de musique et le moment où ce son est entendue sur les haut-parleurs.
- (14) (b) Supposons maintenant un contexte plus réaliste d'un lien sans fil orienté connexion, où des paquets de taille fixe sont transmis sur le lien entre le RPi d'acquisition et de sonorisation. Les données acquises sont divisées en blocs de taille fixe (paquets), avec compression des données, somme de contrôle (*checksum*) pour vérification d'intégrité et d'accusés réception pour chaque paquet. Pour les besoins de l'exercice, vous pouvez présumer que les paquets utilisés pour la compression et pour la transmission Bluetooth sont exactement les mêmes (même taille et même découpage des données).

Voici trois configurations possibles pour le lien sans fil orienté connexion ($1 \text{ ko} = 1024 \text{ o}$).

Configuration	A	B	C
Quantité de données par paquet	64 o	256 o	1024 o

Pour chaque paquet, supposez que l'on doit ajouter l'équivalent de 64 o de données supplémentaires pour le protocole de communication et de compression. Faites l'analyse de ces trois configurations et déterminez laquelle est la plus intéressante pour réduire la latence bout à bout, en supposant qu'une bande passante effective de 50 ko/s est nécessaire pour obtenir la qualité sonore minimale requise avec compression.

- (14) (c) Utilisons la configuration B de la question précédente pour la suite, soit des paquets de 256 o. Supposons qu'il y ait parfois des défaillances du lien sans fil de sorte que des paquets transmis peuvent être corrompus, ce qui exige de les transmettre de nouveau. Chaque fois qu'une telle défaillance survient, un délai additionnel de 80 ms est nécessaire entre la réception du paquet corrompu par le RPi de sonorisation et le renvoi de ce paquet sur le réseau par le RPi d'acquisition. La probabilité de défaillance de chaque paquet est de 0,5 %. Calculez la latence bout à bout moyenne du système, en faisant l'hypothèse simplificatrice qu'un paquet ne peut être corrompu qu'une seule fois. Comparez la latence bout à bout en cas de paquet corrompu avec la latence bout à bout moyenne et discutez brièvement du résultat dans un contexte de système temps réel de transmission du son.
- (14) (d) Supposons maintenant que l'on utilise une modélisation plus sophistiquée de la corruption de paquets sur le réseau, selon une file d'attente de type M/M/1, de sorte que plusieurs paquets peuvent être corrompus simultanément. On suppose alors un taux de corruption (d'arrivée) de $\lambda = 1$ paquet corrompu par seconde et un taux de traitement (départ) de $\mu = 5$ retransmissions par seconde. On suppose que le tampon utilisé permet de tolérer jusqu'à deux paquets corrompus simultanément. Calculez la disponibilité du système relativement à cette modélisation. Indiquez également si cette disponibilité est satisfaisante pour le fonctionnement du système.
- (5) (e) Indiquez si la modélisation par file d'attente faite à la question précédente est réaliste dans ce contexte. Justifiez votre réponse brièvement et clairement.

Question 2 (48 points sur 100)

Répondez aussi brièvement et clairement que possible aux questions suivantes.

- (4) (a) Dans la présentation des 17 règles de la philosophie Unix, une des règles présentées est celle de la **représentation**. Expliquez en quoi consiste cette règle.
- (4) (b) Indiquez si Linux correspond à un modèle de noyau monolithique ou de micro noyau, en précisant ce que cela implique sur l'architecture du noyau.
- (4) (c) Expliquez ce qui rend Linux similaire à un micro noyau relativement aux pilotes de périphériques.
- (4) (d) Expliquez pourquoi il n'est pas possible de faire appel aux fonctions standards du langage C dans le noyau Linux.
- (4) (e) Quel est l'intérêt d'utiliser un *spinlock* (verrou tournant) relativement à un mutex dans le noyau.
- (4) (f) Expliquez pourquoi le traitement des interruptions par les pilotes est souvent séparé en deux parties, soit la moitié inférieure (*bottom half*) et la moitié supérieure (*top half*).

- (4) (g) Expliquez la différence entre les dispositifs de caractères (*character devices*) et les dispositifs de blocs (*block devices*) comme classes de dispositifs dans Linux.
- (4) (h) Indiquez quel type d'infrastructure de communication devrait-on établir entre des dispositifs dans des systèmes temps réel dur, en justifiant votre réponse.
- (4) (i) Expliquez à quoi sert le protocole NTP (*Network Time Protocol*).
- (4) (j) Soit un programme où 20 % du temps d'exécution équivalent sur un processeur doit s'exécuter sur un nœud central, le reste du programme pouvant être exécuté en parallèle sur un grand nombre de nœuds de traitement. Expliquez pourquoi l'accélération (*speedup*) du programme ne peut pas excéder 5.
- (4) (k) Supposons que l'on veut modéliser le fonctionnement d'un serveur Web relativement au nombre de requêtes reçues et traitées. Si on suppose que le serveur comporte un seul processus de traitement et un tampon pouvant conserver jusqu'à N requêtes simultanément (incluant celle présentement traitée), avec des temps d'arrivée des requêtes et des temps de traitement suivants des processus de Poisson, indiquez à quel modèle de file d'attente ceci correspond.
- (4) (l) Donnez la fiabilité correspondant au système suivant, formé de quatre composants dont la fiabilité individuelle est donnée par R_i .

