

**POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

**Département de génie informatique et génie logiciel**

**Cours INF8480: Systèmes répartis et infonuagique (Automne 2023)**

3 crédits (3-1.5-4.5)

---

**CORRIGÉ DE L'EXAMEN FINAL**

**DATE: Vendredi le 15 décembre 2023**

**HEURE: 9h30 à 12h00**

**DUREE: 2H30**

**NOTE: Aucune documentation permise sauf un aide-memoire, préparé par l'étudiant, qui consiste en une feuille de format lettre manuscrite recto verso, calculatrice non programmable permise**

**Ce questionnaire comprend 5 questions pour 20 points**

---

**Question 1 (4 points)**

- a) Un client utilise le service DNS et peut contacter 4 serveurs différents. Chaque serveur a une probabilité d'être disponible de 0.6. i) Si ces serveurs présentent des pannes par omission, combien de serveurs en panne peut-on tolérer et quelle est la probabilité que le service soit disponible au client? ii) Si les pannes sont de type réponse aléatoire et le client prend un vote parmi les réponses des 4 serveurs, combien de serveurs en panne peut-on tolérer, et que devient la disponibilité du service? **(2 points)**

*i) Avec des pannes par omission, on peut tolérer jusqu'à 3 serveurs en panne. La probabilité que les 4 serveurs soient en panne est de  $0.4^4 = 0.0256$ . La probabilité de disponibilité est donc  $1 - 0.0256 = 0.9744$ . ii) Avec des pannes de réponse aléatoire, il faut avoir au moins 2 serveurs disponibles. Nous avons une probabilité de  $0.6^4 = 0.1296$  d'avoir les 4 serveurs disponibles, de  $4 \times 0.6^3 \times (1 - 0.6)^1 = 0.3456$  d'avoir exactement 3 serveurs disponibles parmi les 4, et de  $4! / (2!(4 - 2)!) \times 0.6^2 \times (1 - 0.6)^2 = 0.3456$  d'avoir exactement 2 serveurs fonctionnels. Le total est de  $0.1296 + 0.3456 + 0.3456 = 0.8208$ . On peut aussi calculer la probabilité d'avoir exactement 1 serveur en panne  $4 \times 0.4^3 \times (1 - 0.4)^1 = 0.1536$ . La probabilité d'avoir aucun serveur en panne ou exactement 1 est donc de  $0.0256 + 0.1536 = 0.1792$ , soit une probabilité d'avoir 2 ou plus serveurs disponibles de  $1 - 0.1792 = 0.8208$ , ce qui est une autre manière de faire le calcul, et qui donne exactement le même résultat.*

- b) i) Quelles sont les différences entre les services de noms DNS et LDAP? ii) Quelle est la relation entre les services de noms LDAP et X.500, lequel est le plus populaire? **(2 points)**

*Le service de nom DNS a été conçu spécifiquement pour convertir les adresses textuelles hiérarchiques de noms de domaines en adresses IP. C'est un service un peu ancien, très spécifique, mais qui a été conçu pour offrir une bonne tolérance aux pannes et une bonne performance en raison des caches. Il est uniquement utilisé pour la conversions d'adresses IP. Le service LDAP est un service de noms beaucoup plus générique, qui accepte des schémas de données flexibles et permet des opérations de recherche avancées. Il est beaucoup utilisé pour accéder aux données des utilisateurs des systèmes informatiques (code usager, mot de passe, paramètres...), mais peut contenir des informations très variées. LDAP s'inspire de X.500 mais se veut beaucoup moins compliqué. Pratiquement personne n'utilise X.500.*

**Question 2 (5 points)**

- a) Un client C envoie un message au serveur S pour lui demander l'heure exacte. Ce message est envoyé à 16h05m00.200s et la réponse est reçue à 16h05m00.662s, heure du client. La réponse indique que l'heure exacte du serveur, au moment où il a répondu, était de 16h05m06.222s. i) En utilisant l'algorithme de Christian, calculez le décalage à appliquer à l'heure du client et donnez l'intervalle d'incertitude sur cette valeur de décalage? ii) Si le serveur avait fourni l'information additionnelle suivante, réception de la demande à 16h05m06.111 et envoi de la réponse à 16h05m06.333s, en utilisant l'algorithme de NTP qui tire parti de cette information, que deviendrait le calcul de décalage et l'intervalle d'incertitude associé? **(2 points)**

*On suppose que la moitié de l'intervalle, entre les deux temps sur le client, est pour que le message se rende au serveur et l'autre moitié est prise pour acheminer la réponse. L'incertitude est l'intervalle:  $16h05m00.662s - 16h05m00.200s = 0.462s$ , soit  $\pm 0.231s$ . La nouvelle heure devrait être augmentée du temps pour acheminer la réponse  $16h05m06.222s + 0.231s = 16h05m06.453s$ . Le décalage à appliquer est donc de  $16h05m06.453s - 16h05m00.662s = 5.791s$ . Avec la méthode NTP, on a plutôt:*

$$a = 16h05m06.333s - 16h05m00.662s = 5.671s$$

$$a = 16h05m06.111s - 16h05m00.200s = 5.911s$$

$$\text{Ajustement} = (a+b)/2 = (5.671s + 5.911s)/2 = 5.791s$$

$$\text{Précision} = (a-b)/2 = (5.671 - 5.911s)/2 = \pm 0.12s$$

*Le décalage à appliquer au client est de 5.791s et l'incertitude est de  $\pm 0.12s$ .*

- b) Un groupe de 21 processus,  $p_1$  à  $p_{21}$ , utilisent un serveur central d'exclusion mutuelle. Les 21 processus demandent en même temps (e.g., à 16h00m00.000s) un même verrou  $v_1$ . i) Que peut-on dire de l'ordre dans lequel ces 21 processus obtiendront le verrou? ii) Combien de messages seront échangés au total pour que tous ces processus obtiennent éventuellement le verrou demandé? On suppose qu'il n'y a pas de message perdu. **(2 points)**

i) Si les horloges ne sont pas bien synchronisées, les demandes ne seront pas émises exactement en même temps, et l'ordre dans lequel elles sont envoyées dépendra de leur décalage de temps. Même si tous les processus demandent le verrou en même temps, ces requêtes seront sérialisées sur le réseau et arriveront dans un certain ordre, un peu aléatoire, au serveur qui pourra les traiter séquentiellement. ii) Un message est requis pour qu'un processus demande le verrou, il reçoit un message de réponse du serveur qui le lui accorde, et le client enverra finalement un message lorsqu'il en a terminé avec le verrou. Le processus suivant en ligne, qui avait déjà envoyé une demande, recevra alors un message du serveur qui lui accorde le verrou. On voit donc qu'il faut 3 messages pour chaque client (demande, obtention, cession). Le nombre total de messages échangés est donc de  $21 \times 3 = 63$  messages. Si des accusés de réception sont utilisés, car le délai n'est pas facilement prévisible, soit pour obtenir la réponse suite à une demande, ou soit pour que le client relâche le verrou après son obtention, alors le nombre des messages pourrait être doublé à 126.

- c) Le soleil est à son zénith à 12h00, temps universel coordonné, au centre du fuseau horaire, et cela ne varie pas vraiment d'une année à l'autre. Est-ce parce que la durée d'une rotation est exactement de  $24\text{h} \times 60\text{min} \times 60\text{s}$  et ne varie jamais? Est-ce parce que la durée des secondes est ajustée pour compenser les variations dans la durée des rotations? Est-ce une autre raison? (1 point)

La durée des jours varie légèrement, notamment en fonction des marées et du déplacement du noyau liquide au centre de la terre. La durée des secondes est fixe. L'ajustement se fait en ajoutant ou en retranchant une seconde au besoin, au 30 juin ou au 31 décembre de chaque année.

### Question 3 (4 points)

- a) Les transactions T1, T2, T3 et T4 s'exécutent en même temps et leurs opérations de lecture et d'écriture sur des variables (x1, x2, x3, x4, x5 et x6) sont entrelacées. Les lectures d'une transaction sont effectuées sur les versions courantes des variables, et les écritures d'une transaction sont effectuées sur une version provisoire des variables pour la transaction. Lorsque la transaction se termine et est acceptée, la version provisoire des variables écrites par la transaction devient la version courante. Une validation de la cohérence par contrôle optimiste de la concurrence est effectuée pour accepter ou non chaque transaction. Il faut tenir compte des transactions précédentes qui ont été validées (et ignorer celles qui ne l'ont pas été) pour savoir si chacune des transactions est acceptée ou non. Lesquelles des transactions T1, T2, T3 et T4 pourraient être validées, si une validation en reculant était utilisée pour vérifier la cohérence des transactions? Pour chaque transaction non validée, donnez la ou les variables en conflit. (2 points)

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1 T1: Begin      | 13 T3: Write(x4) |
| 2 T1: Read(x5)   | 14 T1: End       |
| 3 T1: Write(x4)  | 15 T3: Write(x6) |
| 4 T1: Read(x1)   | 16 T4: Read(x4)  |
| 5 T2: Begin      | 17 T2: Read(x5)  |
| 6 T1: Read(x2)   | 18 T2: End       |
| 7 T2: Write(x6)  | 19 T4: Read(x5)  |
| 8 T3: Begin      | 20 T4: Write(x6) |
| 9 T3: Write(x4)  | 21 T3: End       |
| 10 T3: Write(x3) | 22 T4: Read(x3)  |
| 11 T4: Begin     | 23 T4: Write(x5) |
| 12 T3: Read(x4)  | 24 T4: End       |

T1: Begin  
 T1: Read(x5)  
 T1: Write(x4)  
 T1: Read(x1)  
 T2: Begin  
 T1: Read(x2)  
 T2: Write(x6)  
 T3: Begin  
 T3: Write(x4)

```

T3: Write(x3)
T4: Begin
T3: Read(x4)
T3: Write(x4)
T1: End read (x1 x2 x5), write (x4), reculant: validé
T3: Write(x6)
T4: Read(x4)
T2: Read(x5)
T2: End read (x5), write (x6), reculant: validé
T4: Read(x5)
T4: Write(x6)
T3: End read (x4), write (x3 x4 x6), reculant: non validé (x4)
T4: Read(x3)
T4: Write(x5)
T4: End read (x3 x4 x5), write (x5 x6), reculant: non validé (x4)

```

- b) Une transaction répartie T, gérée par le coordonnateur s0, veut écrire les variables a=25 sur le serveur s1, b=33 sur le serveur s2, c=14 sur le serveur s3 et d=9 sur le serveur s4. Cette transaction répartie est commise en utilisant le protocole de fin de transaction atomique à deux phases. i) Quelles seront les entrées ajoutées au journal du coordonnateur et des serveurs s1 et s2, en lien avec cette transaction T? ii) Qu'est-ce qui arrive si s1 plante et redémarre avant la première phase de fin de transaction? Après la première phase? (2 points)

*Le coordonnateur s0 va écrire les participants à la transaction puis va écrire que la transaction est complétée après avoir reçu un vote positif de chaque participant pendant la première phase. Il pourra ensuite annoncer que la transaction est complétée à chacun des participants et au client. Chacun des participants écrit les variables modifiées, ensuite écrit "prépare", lorsqu'on lui demande s'il est prêt à accepter la transaction, et finalement écrit "complété" lorsqu'il reçoit la confirmation du coordonnateur. Si le serveur s1 plante avant la première phase, il aura oublié la transaction en cours et ne pourra donner un vote positif pendant la première phase. La transaction en cours sera donc abandonnée. Si le serveur s1 plante après la première phase, il aura fourni déjà un vote positif après s'être assuré d'avoir écrit dans son journal les informations nécessaires pour poursuivre la transaction, même après un redémarrage inopiné.*

```

S0
P0: ...
P1: Prepare T(s1, s2, s3, s4), P0
P2: Completer T, P1

```

```

S1
P0: ...
P1: write(a, 25)
P2: Prepare T(a: P1), P0
P3: Completer T, P2

```

```

S2
P0: ...
P1: write(b, 33)
P2: Prepare T(b: P1), P0
P3: Completer T, P2

```

#### Question 4 (4 points)

- a) Une compagnie, qui offre des services infonuagiques, met gratuitement à la disposition des usagers un service de fichiers (semblable à Google drive). Cette compagnie opère 30 000 serveurs, constitués en 10 000 groupes de 3

serveurs en redondance. En effet, les fichiers de chaque usager sont dupliqués sur 3 serveurs différents, les 3 serveurs d'un groupe, pour assurer une bonne tolérance aux pannes. Chaque serveur contient une unité RAID de 3 disques. Pour chaque serveur, la probabilité de panne, hormis les disques, est de 0.2. Pour chaque disque, la probabilité de panne est de 0.3, et l'unité RAID peut tolérer un disque en panne sur les 3. i) Quelle est la probabilité qu'un serveur donné soit disponible? ii) Quelle est la probabilité, pour un usager donné, que ses fichiers soient disponibles? iii) Quelle est l'équation (par exemple en fonction de la réponse à i ou ii) qui donne la probabilité que le service soit entièrement disponible pour tous les usagers? **(2 points)**

*L'unité de disques RAID a une probabilité de fonctionner de  $0.7^3 = 0.343$  (3 disques fonctionnels) plus  $3!/((3-2)!2!) \times 0.7^2 \times (1-0.7)^{3-2} = 0.441$  (exactement 2 disques fonctionnels), pour un total de  $0.343 + 0.441 = 0.784$ . Un serveur est opérationnel si l'unité RAID fonctionne et le reste aussi, ce qui donne  $0.8 \times 0.784 = 0.6272$ . Le service sera disponible pour un utilisateur sauf si les 3 serveurs du groupe qui le sert sont en panne, une probabilité de  $1 - (1 - 0.6272)^3 = 0.948188316$  que le groupe de l'utilisateur soit fonctionnel. Le service sera disponible pour tous les usagers si tous les groupes de 3 serveurs sont fonctionnels, une probabilité de  $0.948188316^{10000}$  qui est pratiquement nulle.*

- b) Lors du TP 4, vous avez été amené à configurer un serveur DNS pour la gestion de la zone "polymtl.ca". Dans les TPs précédents, le fichier "hosts" a été souvent utilisé pour faciliter la communication entre les différents conteneurs. Pouvez-vous décrire de manière détaillée comment la mise en place d'un service DNS est plus avantageuse que l'utilisation du fichier hosts? Quelles sont les limites de l'utilisation du fichier "hosts"? **(2 points)**

*Si on utilise le fichier /etc/hosts, beaucoup d'information sur la configuration réseau doit s'y trouver, venant possiblement de plusieurs domaines, et peut devoir être ajustée d'un conteneur à l'autre. Si le service DNS est plutôt utilisé, chaque conteneur sera plus générique (se connecteur au serveur DNS), et son image donc plus simple à générer. Les paramètres spécifiques seront centralisés au niveau du serveur DNS de chaque domaine.*

### Question 5 (3 points)

- a) Qu'est-ce que le développement durable? Dans une approche d'étude du cycle de vie, quelles sont les phases pour lesquelles faire l'étude et quels sont les 4 principaux aspects à évaluer? **(1 point)**

*Le développement durable est: "un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins". Il faut évaluer l'impact d'un projet ou d'un produit sur l'ensemble de son cycle de vie, du début à la fin: fabrication à partir des matières premières, transport / distribution, opération, fin de vie / démantèlement / disposition / recyclage. Les 4 principaux aspects à évaluer sont les impacts sur la santé humaine, l'écologie, l'appauvrissement des ressources et les changements climatiques.*

- b) Quelles sont les responsabilités de l'ingénieur concernant les aspects de développement durable d'un projet? Quels sont les lois et règlements applicables au développement durable pour un ingénieur? **(1 point)**

*Le Québec a voté une loi sur le développement durable en 2006, et le Canada en 2008. De plus, le BAPE est appelé à évaluer beaucoup de gros projets comme les centrales, les barrages ou les aéroports. La loi sur la responsabilité élargie des producteurs a aussi un impact sur la production de certains types de biens comme les produits électroniques, les batteries et les peintures. Finalement, le code de déontologie de l'Ordre des Ingénieurs du Québec stipule clairement que l'Ingénieur doit tenir compte du développement durable dans l'exercice de ses fonctions.*

- c) Pour un projet de centre de données, quels sont les deux éléments qui en général ont le plus gros impact sur l'environnement? **(1 point)**

*Les deux éléments qui ont le plus gros impact au niveau du développement durable pour un centre de données sont généralement la consommation d'électricité pendant son opération, et la fabrication des équipements informatiques et électriques, particulièrement les équipements informatiques qui doivent être renouvelés aux 3 à 5 ans.*

Le professeur: Michel Dagenais