

Corrigés des exercices

Chapitre 1 : Introduction

ISBN : 978-2-3260-0239-5

1. Puisque le corbeau vole à 44 km/h, sa vitesse en m/s est de $44\,000 / 3600 = 12,22$ m/s. Pour parcourir 160 km, il lui faut $160\,000 \text{ m} / 12,22 \text{ s} = 13093,29$ s (3h38).
 - a) Pour transmettre 1,8 To, un seul parchemin suffit, donc un aller simple. Le débit devient :
 $1\,800 \text{ Go} / 13\,093,29 \text{ s} = 0,1375 \text{ Go/s}$ ou 1,1 Gbit/s
 - b) Pour transmettre 3,6 To, il faut deux parchemins, donc un aller/retour suivi d'un aller simple. Le débit devient :
 $3\,600 \text{ Go} / (3 * 13\,093,29 \text{ s}) = 3\,600 / 39\,280 = 0,0916 \text{ Go/s}$ ou 733 Mbit/s
 - c) Le débit soutenu corespond à un aller/retour :
 $1\,800 \text{ Go} / (2 * 13\,093,29 \text{ s}) = 1\,800 / 26\,186 = 0,068 \text{ Go/s}$ ou 550 Mbit/s
2. Plusieurs réponses sont possibles. Un inconvénient important de l'Internet des objets est le risque accru d'atteinte à la vie privée des individus, car la multiplication des équipements connectés augmente la surface accessible aux attaques malveillantes cherchant à soutirer des informations confidentielles. Même sans vol d'informations, les entreprises qui traitent les données des équipements IoT peuvent être tentées de les monétiser en les vendant à des annonceurs.
3. Tout d'abord, les réseaux sans fil permettent de rester connectés tout en se déplaçant. Deuxièmement, bien que les débits des réseaux sans fil sont inférieurs à ceux des réseaux filaires, ils sont devenus suffisants pour répondre aux besoins des applications des utilisateurs, y compris la lecture de documents multimédia en flux et la visioconférence. Enfin, l'installation de câbles réseau peut être onéreuse si elle n'est pas prévue lors de la construction du bâtiment.
4. Pour l'entreprise, l'énorme avantage est de ne plus devoir mobiliser un capital important ou contracter un emprunt pour acquérir et installer le matériel. Elle loue les capacités de traitement et de stockage d'un centre de traitement (*data center*) en ne payant qu'en proportion du temps consommé et des ressources sollicitées. Un inconvénient est de ne plus avoir un accès total aux détails de l'infrastructure, ce qui rend difficile la recherche des meilleures performances applicatives. Les centres de traitement disposent d'une quantité de ressources prévue pour répondre à l'augmentation des besoins, ce qui est bénéfique à l'entreprise cliente comme aux utilisateurs. Ces derniers auront en revanche moins de facilité pour savoir à tout moment où se trouvent leurs données et qui d'autre les utilise.
5. Le modèle LAN peut être implanté petit à petit, de façon incrémentale. Si le LAN est juste un long câble, une panne ne suffira pas pour mettre en péril le système (si les serveurs sont dupliqués). Le LAN est probablement moins cher. Il permet d'avoir plus de puissance de calcul et des interfaces d'interaction de meilleure qualité.
6. Une fibre optique intercontinentale a une bande passante de plusieurs gigabits par seconde, mais sa latence est elle aussi très élevée, en raison des milliers de kilomètres que doit parcourir la lumière dans la fibre. En revanche, un modem à 56 kbit/s, qui dialogue avec un ordinateur situé dans le même bâtiment, a une faible bande passante et une faible latence. C'est également le cas des technologies de réseau personnels à très courte portée telles que Zigbee.

7. Non. La vitesse de propagation est de 200 000 km/s, soit 200 m/μs. En 20 μs, le signal parcourt 4 km. Chaque commutateur ajoute donc l'équivalent de 4 km de liaison. Si le client est distant du serveur de 5 000 km, la traversée de 50 commutateurs n'ajoute que 200 km, soit 4 %. On voit que le délai de commutation n'est pas un facteur important.

8. Le délai correspond à 1 % du temps total. Il en découle que :

$$\frac{100 \mu s \times n}{\frac{29\,700 \text{ km}}{300\,000 \text{ km/s}} + 100 \mu s \times n} = 0,01$$

avec n le nombre de satellites.

$$\frac{29\,700 \text{ km}}{300\,000 \text{ km/s}} + 100 \mu s \times n = 100 \times 100 \mu s \times n$$

$$\frac{29\,700 \text{ km}}{300\,000 \text{ km/s}} = 99 \times 100 \mu s \times n$$

$$\frac{29\,700 \text{ km}}{300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \times 99 \times 100 \mu s} = 10 = n$$

Le signal doit donc passer par 10 satellites pour que le délai de commutation s'élève à 1 % du délai total.

9. La demande doit faire un trajet sol-satellite suivi d'un trajet satellite-sol, de même pour la réponse. La longueur totale du chemin parcouru est donc de 160 000 km. La vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air étant égale à environ 300 000 km/s, le délai de propagation est à lui seul de 160/300 seconde, soit environ 533 millisecondes.

10. Une vitesse de 2/3 de celle de la lumière équivaut à 200 000 km/sec. En 100 millisecondes, ou 0,1 seconde, le signal a progressé de $200\,000 \times 0,1 = 20\,000$ km.

11. Il n'y a bien évidemment pas de « bonne réponse » à cette question, mais on peut relever quelques points intéressants. Le système actuel a, par construction, une inertie assez forte. Cette inertie évite que les retournements d'opinion sur tel ou tel sujet ne se traduisent par un changement de politique instantané. De plus, beaucoup de gens ont, sur certaines questions, des idées arrêtées sans pour autant avoir vraiment réfléchi au problème. Inscire dans la loi des opinions peu raisonnées n'est probablement pas souhaitable. Il faut aussi considérer les effets potentiels de campagnes de manipulation ou, tout simplement, de publicité réalisées par tel ou tel groupe de pression. Enfin, la sécurité constitue un autre point majeur. Il serait ennuyeux qu'un petit génie de 14 ans pénètre le système et falsifie les résultats.

12. Appelons les routeurs A, B, C, D et E . Il y a 10 liaisons possibles : $AB, AC, AD, AE, BC, BD, BE, CD, CE$ et DE . Chacune d'elles offre quatre possibilités (trois débits ou aucun lien). Le nombre total de topologies est donc de $4^{10} = 1\,048\,576$. À 50 ms chacune, il faut 52 428,8 secondes, soit environ 14,6 heures pour les explorer toutes.

13. Le chemin moyen entre deux routeurs correspond à deux fois le chemin moyen entre routeur et racine. On numérote les niveaux de l'arbre, la racine valant 1 et le niveau le plus bas valant n . Le chemin de la racine au niveau n demande $n - 1$ sauts ; 0,50 des routeurs se situent à ce niveau. Le chemin de la racine au niveau $n - 1$ comprend 0,25 des routeurs avec une longueur de $n - 2$ sauts. La longueur de chemin moyenne l s'obtient ainsi :

$$l = 0,5 \times (n - 1) + 0,25 \times (n - 2) + 0,125 \times (n - 3) + \dots$$

ou

$$l = \sum_{i=1}^{\infty} n(0,5)^i - \sum_{i=1}^{\infty} i(0,5)^i$$

Cette expression réduite aboutit à $l = n - 2$. Le chemin moyen de routeur à routeur est égal à $2n - 4$.

14. Il faut distinguer $n + 2$ événements. Les événements 1 à n concernent l'accès au canal des différents hôtes sans collision. La probabilité de chacun de ces événements est $p(1 - p)^{n-1}$. L'événement $n + 1$ est un canal inutilisé ; sa probabilité est $(1 - p)^n$. L'événement $n + 2$ est une collision. Ces $n + 2$ événements représentent tous les cas possibles, donc leurs probabilités sont une somme de 1. La probabilité d'une collision, qui est égale à la fraction d'intervalles temporels gâchés, est donc

$$1 - np(1 - p)^{n-1} - (1 - p)^n.$$

15. Au lieu de tenter de prévenir les avaries, les réseaux performants sont tolérants aux pannes. Ils supportent que des avaries se produisent mais les isolent ou les masquent afin qu'elles ne perturbent pas le reste du système au moyen par exemple de la détection d'erreur, de la correction d'erreur et du routage réseau.
16. La prise en charge des fonctions réseau est distribuée entre plusieurs couches. Chaque couche n'a qu'une connaissance partielle de la destination des données. La couche Liaison ne connaît que la prochaine machine vers laquelle envoyer les données. La couche Réseau sait quelle machine est la destinataire finale dans la totalité du réseau. La couche Transport sait vers quel processus de la machine destinataire il faut envoyer les données.
17. La question était simple, car il ne s'agissait que de confirmer les réponses dans la colonne de droite.

<i>Garantie</i>	<i>Couche</i>
Livraison au mieux	Réseau
Livraison fiable	Transport
Livraison dans l'ordre	Transport
Abstraction de flux d'octets	Transport
Abstraction de lien point à point	Liaison

18.

<i>Fonction</i>	<i>Interface</i>
send bits over link(bits)	Couche Physique
send bytes to process(dst, src, bytes)	Couche Transport
send bytes over link(dst, src, bytes)	Couche Liaison
send bytes to machine(dst, src, bytes)	Couche Réseau

19. $5 \times 1500 = 7500$ octets pour 100 millisecondes. Soit un débit de 75 000 octets/seconde.
20. Dans le modèle de l'ISO, la communication physique existe uniquement dans la couche la plus basse et non dans chaque couche. Cette manière de faire ne respecte donc pas les principes de la communication dans un protocole multicouche.
21. Les flots de messages et les flots d'octets sont différents. Dans un flot de messages, le réseau garde la trace des frontières de messages. Ce n'est pas le cas avec un flot d'octets. Supposons, par exemple, qu'un processus écrive, à un moment donné, 1 024 octets dans une connexion puis 1 024 octets juste après. Le récepteur va effectuer la lecture de 2 048 octets. Avec un flot de messages, il recevra deux messages de 1 024 octets alors qu'avec un flot d'octets, il recevra les 2 048 octets en une fois. Le flot d'octets ne tient pas compte du fait que ces 2 048 octets constituaient, à l'origine, deux messages distincts.
22. La négociation est liée à l'accord que doivent trouver les deux parties échangeant des données, pour régler certains paramètres ou donner une valeur à des variables utilisées dans la communication. Citons la taille maximale de paquet mais il en existe beaucoup d'autres.
23. Le service indiqué est le service offert par la couche k à la couche $k + 1$. L'autre service qui devrait être indiqué est celui qui est situé en dessous de k , c'est-à-dire le service offert à la couche k par la couche sous-jacente $k - 1$.

24. La probabilité, P_k , qu'une trame nécessite exactement k transmissions est la probabilité que les $k - 1$ premiers essais n'aboutissent pas, p^{k-1} , que multiplie la probabilité que le k -ième essai réussisse, $(1 - p)$. Le nombre moyen de transmissions est alors de :

$$\sum_{k=1}^{\infty} kP_k = \sum_{k=1}^{\infty} k(1-p)p^{k-1} = \frac{1}{1-p}$$

Ou bien, plus directement, si la probabilité qu'un message puisse être transmis est $1 - p$, le nombre de transmissions attendu pour chaque transmission de message réussie est $1 / (1 - p)$.

25. Modèle OSI : (a) Couche liaison de données. (b) Couche réseau.
Modèle TCP/IP : (a) Couche Liaison. (b) Couche Internet.
26. Les trames encapsulent les paquets. Lorsqu'un paquet arrive au niveau de la couche de liaison de données, la totalité de son contenu (en-tête, données utiles, etc.) devient le champ de données utiles d'une trame. Le paquet est donc enveloppé dans la trame (à supposer que la taille de trame est suffisante).
27. Chaque couche considère les données qu'elle obtient de la couche voisine supérieure comme la partie charge utile. Elle y ajoute son propre en-tête ou en-queue. L'ordre résultant d'en-têtes et d'en-queues est : [1][3][5][M][6][4][2].
28. Avec n couches et h octets ajoutés par chaque couche, le nombre total d'octets ajoutés par les couches en en-tête est de nh . La taille totale du message est alors de $M + nh$, et la portion de bande passante occupée par ces en-têtes est de $hn/(M + hn)$. Cette estimation ne tient pas compte de la fragmentation (un message d'une couche supérieure émis sous forme de plusieurs messages de bas niveau), ni de l'agrégation (plusieurs messages de haut niveau transmis sous forme d'un seul message de couche inférieure) that may be present. En cas d'utilisation de la fragmentation, cela augmente le surdébit (overhead). En cas d'agrégation, cela le réduit.
29. Les réponses possibles sont nombreuses. En voici cinq :
- Un modem sans fil sert de point d'accès à un réseau WiFi et se connecte au réseau câblé d'un FAI.
 - Un téléphone connecté au 3G sert de point d'accès à un réseau WiFi.
 - Un téléphone connecté à un réseau WiFi et servant de maître dans un réseau local Bluetooth.
 - Un routeur d'un FAI qui relie le réseau de ce FAI à ceux d'autres FAI.
 - Un téléphone connecté à deux stations de base en même temps pendant la phase de passage de relais entre deux cellules. Cela ne provoque pas la connexion d'un nouvel équipement, mais l'illusion du maintien de la connexion de l'utilisateur.
30. Les deux nœuds situés en haut à droite seront isolés si trois bombes détruisent les trois nœuds auxquels ils sont reliés. Le système peut donc supporter la perte de deux nœuds quelconques.
31. Doubler tous les 18 mois revient à quadrupler en 3 ans. En 9 ans, le gain est alors de 4^3 , soit 64, ce qui nous conduit à 38,4 milliards d'hôtes. Cela paraît beaucoup mais si chaque téléviseur, chaque téléphone mobile, chaque voiture... est connecté, c'est plausible. En réalité, la croissance du nombre de machines hôtes connectées a ralenti, mais la multiplication des équipements personnels connectés dans un horizon proche va entraîner une nouvelle accélération des besoins de connexion.
32. Si le réseau a un taux de perte de paquets important, il vaut mieux acquitter chaque paquet séparément, pour être en mesure de retransmettre immédiatement ce paquet perdu. Mais si le réseau est très fiable, il vaut mieux envoyer un acquittement seulement en fin de réception du fichier. Cela économise de la bande passante (mais oblige à retransmettre tout le fichier dès qu'un seul paquet a été perdu).
33. Connaître la position géographique des téléphones permet aux opérateurs d'en savoir beaucoup sur les utilisateurs, par exemple où ils dorment, où ils travaillent, où ils voyagent, où ils font leurs courses... Ces informations peuvent être revendues ou volées et le citoyen peut en perdre le contrôle. D'un autre côté, connaître la position géographique d'un utilisateur peut être très utile en cas d'urgence et peut également aider à détecter des tentatives d'usurpation d'identité (*a priori*, vous êtes à côté de votre téléphone et pas à 5 000 km de là).

34. La vitesse de transmission est à peu près de 200 000 km/s, soit 200 m/ μ s. À 10 Mbit/s, il faut 0,1 μ s pour transmettre un bit. Un bit occupe ainsi 0,1 μ s, durée pendant laquelle il se propage sur 20 m. Un bit occupe donc 20 m.
35. L'image fait 3 840 \times 2 160 \times 3 octets, soit 8 294 400 octets, c'est-à-dire 66 355 200 bits. À 56 kbit/s, il faut environ 822,857 s. À 1 Mbit/s, il faut un peu plus d'une minute (66,36 s) et à 100 Mbit/s, il ne faut plus que 0,663 s. À 1 Gbit/s, il faut 46 ms.
36. Pensons au problème du terminal caché. Imaginons un réseau sans fil comprenant cinq stations, de A à E, chacune d'elles ne voyant que ses deux voisines immédiates. A peut alors parler à B tandis qu'au même instant D peut parler à E. Les réseaux sans fil présentent donc un certain parallélisme potentiel, ce qui n'est pas le cas d'Ethernet.
37. Un inconvénient concerne la sécurité. Un simple livreur qui vient à l'accueil du bâtiment peut en profiter pour analyser le réseau. Un autre est la fiabilité, car les réseaux sans fil fonctionnent par nature avec un taux d'erreur important. Il y a enfin le problème de l'autonomie, car de nombreux équipements sans fil fonctionnent sur batteries.
38. Avec une norme de protocole, n'importe qui peut communiquer avec n'importe qui d'autre, en étant certain d'être compris. Autre avantage : la grande diffusion des normes permet des économies d'échelle, en particulier sur les VLSI. Le premier inconvénient est que les compromis nécessaires à l'élaboration de la norme par consensus conduisent souvent à des résultats assez pauvres. Le second est qu'une fois la norme adoptée, il est difficile de la modifier, même si l'on découvre des techniques ou des méthodes plus élaborées. Une norme peut d'ailleurs être déjà obsolète au moment même où elle est adoptée.
39. Il existe évidemment de très nombreux exemples. Parmi les systèmes normalisés au niveau international, on trouve les lecteurs de disques compacts, les disques eux-mêmes, les appareils photo numériques et leurs dispositifs de stockage, les automates bancaires et les cartes à puce. Parmi les grands domaines dans lesquels la normalisation internationale fait défaut, citons les magnétoscopes (NTSC VHS aux États-Unis, PAL VHS dans certains pays d'Europe, SECAM VHS dans d'autres), les téléphones portables, les appareils électriques (les tensions sont différentes suivant les pays), les prises électriques (la forme, le nombre de broches, etc., différent), les photocopieurs et les feuilles de papier (8,5 \times 11 pouces aux États-Unis, A4 presque partout ailleurs), les vis et les boulons (système métrique ou pieds et pouces), etc.
40. Les réseaux informatiques sont exploités dans des environnements très divers, donc avec des contraintes différentes pour les protocoles. Par exemple, un canal souffrant d'un fort taux d'erreur requiert des codes de correction d'erreur pour assurer un débit raisonnable ; un réseau public demande plus de mesures de sécurité qu'un réseau domestique ; un réseau loué à un fournisseur fera l'objet d'un contrat de qualité de service avec ses clients.
41. Il n'y a pas d'impact sur le fonctionnement des couches $k - 1$ et $k + 1$.
42. Il n'y a pas d'impact sur la couche $k - 1$ mais les opérations de la couche $k + 1$ doivent être réimplémentées.
43. La navigation jusqu'à une page Web déclenche en général plusieurs requêtes GET, chaque requête servant à obtenir une ressource (la page HTML, le fichier des styles CSS et les fichiers des images). Les performances peuvent bénéficier de requêtes indépendantes, car cela permet par exemple de commencer le rendu de la page HTML sans attendre la fin du téléchargement de toutes les images.
44. Voici une liste type d'activités quotidiennes nécessitant un accès réseau.
 1. Achat de biens et de services en ligne.
 2. Visionnage de vidéo à la demande.
 3. Écoute de musique en ligne.
 4. Interaction sociale par messageries classique et instantanée.
 5. Stockage de documents et de photos sur télédiffusion dans le cloud.
 6. Consultation des actualités sur le Web.
 7. Rendu des devoirs du soir dans un logiciel ENT (Espace Numérique de Travail).
 8. Déclaration des revenus sur le site du gouvernement.

9. Opérations bancaires avec une application sur téléphone.
 10. Séance de jeu vidéo avec des amis.
45. Exercice pratique. Appréciation entre collègues ou par un enseignant.