

Feuille d'exercices de l'EC « réseaux – modèles en couche » (FISA2)

Chapitre 1

Exercice 1. Chacun des exemples suivants peut se modéliser comme un réseau, c'est-à-dire comme un graphe orienté valué. Indiquez pour chaque exemple : ce qui est représentable par un nœud, ce qui est représentable par un arc, et ce qui est représentable par le poids d'une arête.

- Exemple 1 : Le réseau routier permet d'interconnecter des villes au moyen de routes.
- Exemple 2 : Le réseau ferroviaire.
- Exemple 3 : Le réseau sanguin.
- Exemple 4 : Le réseau nerveux.
- Exemple 5 : Le réseau fluvial.
- Exemple 6 : Le réseau d'électricité.
- Exemple 7 : Le réseau Internet.
- Exemple 8 : Le réseau social facebook (ou linkedin).
- Exemple 9 : Le réseau social de vos connaissances.

Exercice 2. Pour chacun des exemples de l'exercice précédent, indiquez si le graphe sous-jacent est connexe ou pas. Indiquez pourquoi.

Exercice 3. Pour chacun des exemples de l'exercice précédent, indiquez si le graphe possède un *single-point-of-failure*, c'est-à-dire si la perte d'un seul nœud ou d'une seule arête peut déconnecter le graphe.

Exercice 4. Considérons le réseau ferroviaire d'un pays. Un utilisateur cherche à aller d'une ville A à une ville B, en minimisant le nombre de kilomètres parcourus. Comment peut-on modéliser ce problème sous la forme d'un graphe orienté valué, de manière à ce que le plus court chemin de A à B retourne le plus court chemin en termes de kilomètres ? Dit autrement, comment peut-on pondérer chaque arc ?

Exercice 5. Dans l'exercice précédent, on ne prend pas en compte le fait que certaines gares d'une même ville (comme Paris) peuvent être distantes de plusieurs kilomètres. Comment changer la modélisation pour prendre en compte ces kilomètres intra-ville dans le calcul du plus court chemin ? Comment représente-t'on le point A ou le point B si les gares précises dans les villes de départ et d'arrivée ne sont pas spécifiées ?

Exercice 6. Un graphe petit monde est un grand graphe dans lequel la distance entre deux nœuds est toujours faible. Considérons l'exemple du réseau social des connaissances. Montrez que la distance entre vous et le maire de la ville de Denver dans le Colorado est faible (disons à une dizaine de sauts).

Exercice 7. La courte distance des graphes petit monde est souvent surprenante, car on pourrait croire que le diamètre (c'est-à-dire la plus grande distance) dans un grand graphe est nécessairement élevé.

- Construisez un exemple de graphe non orienté de diamètre 1 avec 1000 nœuds (bien sûr, sans représenter les 1000 nœuds). On appelle ce graphe une clique. Est-ce que ce graphe vous semble réaliste pour un réseau social par exemple ?
- Considérez un graphe non orienté en étoile, avec un nœud central, et 999 nœuds en périphérie. Quel est le diamètre de ce graphe ? Quel est le degré de chacun des nœuds, c'est-à-dire le nombre d'arêtes ?
- Considérez un arbre complet non orienté de degré k , c'est-à-dire que chaque nœud possède au plus k voisins, et de hauteur h . Quel est le nombre de nœuds de cet arbre, en fonction de h et k ? Donnez le nombre de nœuds (approximatif) pour $h=10$ et $k=5$. Ce résultat nous aide à apprécier le fait qu'un grand graphe peut avoir à la fois un degré faible (ici, $k=5$) et un diamètre borné (ici, $2h=20$).
-

Feuille d'exercices – chapitre 2

Section 2.1 – Couche physique

Exercice 8. Une couche physique s'appuie sur un médium (qui est le support physique de la communication), sur un équipement pouvant émettre sur le médium, et sur un équipement pouvant lire sur le médium. Dans les exemples ci-dessous, tirés de la vie courante, indiquez le médium, l'équipement de transmission et l'équipement de réception.

- Exemple 1 : La communication par nuages de fumée des indiens d'Amérique.
- Exemple 2 : L'écoute des rails de chemin de fer par les indiens d'Amérique.
- Exemple 3 : La communication par la voix.
- Exemple 4 : Le langage des signes.
- Exemple 5 : Le braille.
- Exemple 6 : Les ultra-sons des chauves-souris.
- Exemple 7 : Le chant des baleines.
- Exemple 8 : La communication par phéromone des fourmis.

Exercice 9. Pour chacun des exemples de l'exercice précédent, indiquez des sources de bruit, c'est-à-dire des phénomènes physiques qui peuvent gêner (voire empêcher) la communication.

-
-
-
-

Exercice 10. Dans les exemples ci-dessous, issus du monde numérique, indiquez le médium.

- Exemple 1 : L'envoi d'informations dans un câble électrique.
- Exemple 2 : L'envoi d'informations dans un câble optique.
- Exemple 3 : Le contrôle d'un téléviseur par une télécommande.
- Exemple 4 : L'envoi d'informations en WiFi.
- Exemple 5 : La communication entre un téléphone portable et une station de base.

Exercice 11. Pour chacun des exemples de l'exercice précédent, indiquez des sources de bruit, c'est-à-dire des phénomènes physiques qui peuvent gêner (voire empêcher) la communication.

-

Sous-section 2.1.1 – Modulation

Exercice 12. Considérons une modulation ASK à deux niveaux d'amplitude : un niveau haut (correspondant au bit 1) et un niveau bas (correspondant au bit 0). Modulez le signal représenté par 11010001.

Exercice 13. L'effet Doppler est un phénomène physique qui se produit quand une source d'un signal s'approche ou s'éloigne du récepteur du signal. On l'observe dans la vie courante quand une ambulance nous dépasse, ce qui change le son que l'on entend. Quand l'ambulance se rapproche, est-ce que la fréquence du signal reçu est plus élevée ou plus faible que la fréquence du signal émis ? Et quand l'ambulance s'éloigne ? Est-ce que le son de l'ambulance qui se rapproche est plus aigu ou plus grave que le son de l'ambulance qui s'éloigne ?

Exercice 14. Considérons une modulation ASK à deux niveaux d'amplitude : un niveau haut (pour 1) et un niveau bas (pour 0). Considérons à présent qu'un phénomène physique modifie en permanence la fréquence du signal périodique sous-jacent. Par exemple, il peut s'agir d'un déplacement erratique de la source. Modulez un signal de 10 bits, et demandez à votre voisin de démoduler ce signal.

Exercice 15. Considérons une modulation ASK à quatre niveaux d'amplitude : un niveau très haut (pour 11), un niveau haut (pour 10), un niveau bas (pour 01), et un niveau très bas (pour 00). Modulez le signal 11100100101101. Est-ce que la modulation ASK est robuste face à l'effet Doppler ?

Exercice 16. Peut-on moduler le signal 111 ? Si oui, comment ? Si non, que peut-on faire ?

Exercice 17. L'amplitude d'un signal reçu diminue avec la distance entre la source et le récepteur. Est-ce que la modulation ASK est robuste face à la baisse de l'amplitude liée à l'éloignement ?

Exercice 18. Quel est l'avantage de disposer de plusieurs niveaux d'amplitude dans une modulation ASK ?

Exercice 19. Quels sont les inconvénients de disposer de plusieurs niveaux d'amplitude dans une modulation ASK ?

Exercice 20. Considérons une modulation FSK à deux fréquences : une fréquence haute (pour 1) et une fréquence basse (pour 0). Modulez le signal correspondant à 1011101.

Exercice 21. Est-ce que la modulation FSK est robuste face à l'effet Doppler ?

Exercice 22. Est-ce que la modulation FSK est robuste face à la baisse de l'amplitude liée à l'éloignement ?

Exercice 23. Considérez une modulation FSK à quatre fréquences. Modulez le signal 110010000110, et demandez à votre voisin de le démoduler.

Exercice 24. Considérez une modulation PSK à deux niveaux : un changement de phase correspond à 1, et un maintien de la phase correspond à 0. Modulez le signal 1011101.

Exercice 25. Considérez une modulation PSK à quatre niveaux, dans laquelle le maintien de la phase correspond à 00. Représentez les signaux 0000, 0001, 0010 et 0011.

Exercice 26. LoRa est une couche physique utilisée dans les réseaux sans fils longue distance et basse consommation, permettant à un nœud fonctionnant sur piles de communiquer avec une passerelle située à plusieurs kilomètres. LoRa utilise une modulation CSS (*Chirp-Spread Spectrum*), dans laquelle chaque symbole est modulé avec une fréquence variable en fonction du temps. La fréquence augmente linéairement dans le temps, jusqu'à atteindre une valeur maximale. Après cette valeur maximale, elle retombe à la valeur minimale, et reprend son augmentation linéaire. La durée d'un symbole est le temps nécessaire pour balayer l'ensemble des fréquences, c'est-à-dire pour retomber sur la fréquence initiale. Pour le symbole 00, la fréquence initiale est la fréquence minimale. Pour le symbole 01, la fréquence initiale est égale à la fréquence située au quart de l'intervalle des fréquences. Pour le symbole 10, la fréquence initiale est égale à la fréquence située à la moitié de l'intervalle. Pour le symbole 11, la fréquence initiale est égale à la fréquence située aux trois-quarts de l'intervalle. Modulez le signal 0011011011.

Exercice 27. Dans la modulation LoRa, il est très important de connaître la durée d'un symbole pour pouvoir démoduler un signal. Pour cela, chaque transmission est précédée d'un préambule constitué de huit fois le symbole 00. Dessinez un tel préambule, et montrez comment on peut en déduire la durée d'un symbole.

Exercice 28. Choisissez une durée de symbole d_1 et un signal s_1 de 12 bits. Modulez s_1 avec LoRa et la durée de symbole d_1 . Choisissez un signal s_2 de 6 bits. Modulez s_2 avec LoRa et la durée de symbole $d_2=2d_1$. Superposez les deux signaux s_1 et s_2 , c'est-à-dire dessinez les l'un sur l'autre. Demandez à votre voisin de démoduler les deux signaux.

Exercice 29. Considérons la séquence d'étalement DSSS suivante : 1101. Considérez une modulation ASK à deux niveaux. Modulez le signal 011. Demandez à votre voisin de le démoduler.

Exercice 30. Considérons la séquence d'étalement DSSS suivante : 1001. Considérez une modulation ASK à deux niveaux. Modulez un signal de trois bits. Introduisez une erreur dans le signal modulé (c'est-à-dire, transformez un 0 en 1, ou un 1 en 0). Demandez à votre voisin de démoduler ce signal.

Exercice 31. Considérons la séquence d'étalement DSSS suivante : 0111. Considérez une modulation PSK à deux niveaux. Modulez un signal de trois bits. Demandez à votre voisin de démoduler ce signal.

•

Sous-section 2.1.2 – Codage

Exercice 32. Représentez graphiquement le signal 100011101100, pour chacun des codages suivants : NRZ-L, NRZ-M, NRZ-S, RZ, Manchester, Biphase-M, Biphase-S, Manchester différentiel, Delay coding et Bipolar. Il vous est conseillé d'utiliser le tableau récapitulatif du cours.

Exercice 33. Un code préfixe est un code dans lequel aucun symbole n'est préfixe d'un autre. Un code préfixe ne génère pas d'ambiguïté. En considérant le sous-ensemble du code morse constitué des lettres A (point trait), B (trait point point point), C (trait point trait point), D (trait point point) et E (point). Est-ce que ce code est préfixe ? Est-ce qu'il est ambigu ? Si oui, écrivez deux messages différents correspondant à la même séquence.

•

Exercice 34. Considérez le sous-ensemble du code morse constitué des lettres F (point point trait point), G (trait trait point), H (point point point point), I (point point) et J (point trait trait trait). Est-ce que ce code est préfixe ? Est-ce qu'il est ambigu ? Si oui, écrivez deux messages différents correspondant à la même séquence.

Exercice 35. Considérez le sous-ensemble du code morse constitué des chiffres 1 (point trait trait trait trait), 2 (point point trait trait trait), 3 (point point point trait trait), 4 (point point point point trait) et 5 (point point point point point). Est-ce que ce code est préfixe ? Est-ce qu'il est ambigu ? Si oui, écrivez deux messages différents correspondant à la même séquence.

Exercice 36. Choisissez cinq lettres (ou chiffres) du code morse parmi celles indiquées dans les exercices précédents. Codez un message de cinq lettres, et demandez à votre voisin de le décoder, en lui indiquant les lettres que vous avez utilisées.

Exercice 37. Considérez le code suivant : A \leftrightarrow 0, B \leftrightarrow 010, C \leftrightarrow 101. Est-ce que ce code est préfixe ? Est-ce que ce code est ambigu ?

Exercice 38. Considérez le code : A \leftrightarrow 0, B \leftrightarrow 01. Est-ce que ce code est préfixe ? Est-ce que ce code est ambigu ?

Sous-section 2.1.3 – Codes correcteurs d'erreur

Exercice 39. Le code à (3,1)-répétition consiste à répéter trois fois chaque bit. Codez le message 101101. Demandez à votre voisin de le décoder.

Exercice 40. Choisissez un message de 5 bits. Codez le avec un code à (3,1)-répétition. Introduisez plusieurs erreurs distantes d'au moins trois bits (c'est-à-dire qu'il ne peut y avoir qu'au maximum une erreur sur un groupe de trois bits consécutifs). Demandez à votre voisin de le décoder, tout en indiquant quelles étaient les erreurs.

Exercice 41. Quel est le taux de codage d'un code à (3,1)-répétition ?

•

Section 2.2 – Couche MAC

Exercice 42. Illustrez le fonctionnement de CSMA/CD avec trois machines qui souhaitent émettre exactement au même instant.

Exercice 43. Illustrez le fonctionnement de Token Ring avec un réseau de trois machines qui souhaitent émettre au même instant.

Exercice 44. Illustrez le fonctionnement de CSMA/CA avec trois machines : A, B et C. Vous considérez que A veut transmettre à B, que C veut transmettre à B, et que chaque machine entend les deux autres.

Exercice 45. Reprenez l'exercice précédent, mais cette fois, A et C ne s'entendent pas.

Exercice 46. Expliquez le problème précédent, appelé « problème du terminal caché ».

Exercice 47. Illustrez le fonctionnement de CSMA/CA avec quatre machines : A, B, C et D. Vous considérez que B veut transmettre à A, que C veut transmettre à D, et que B et C ne s'entendent pas.

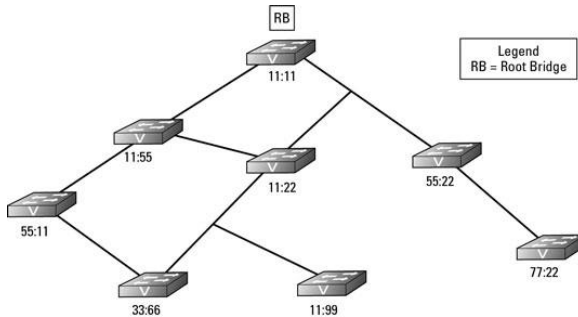
Exercice 48. Reprenez l'exercice précédent, mais cette fois, B et C s'entendent.

Exercice 49. Considérez l'exercice précédent. Est-ce qu'une collision se serait produite si B transmet à A en même temps que C parle à D, avec A et D qui ne s'entendent pas ?

Exercice 50. Expliquez le problème précédent, appelé « problème du terminal exposé ».

•

- Exercice 51.** Illustrez le résultat du spanning tree sur le réseau représenté sur la figure 1.
- Exercice 52.** Reprenez l'exemple de l'exercice précédent. Quel est le chemin suivi par les données allant du switch indiqué 11:99 au switch indiqué 77:22 ?
- Exercice 53.** Reprenez l'exemple de l'exercice précédent. Comment optimiser les communications allant du switch indiqué 11:99 au switch indiqué 77:22 ?



- Figure 1 : Exemple de topologie pour le protocole du *spanning tree* (<https://kayacem.com/spanning-tree-protocol-stp/>, le 6/09/2023).

Section 2.3 – Couche réseau

- Exercice 54.** Donnez la classe IP des adresses suivantes : 192.168.1.1, 10.0.0.159, 45.67.89.10 et 230.102.14.15.
- Exercice 55.** Donnez l'adresse réseau et l'adresse machine des IP suivantes : 1.2.3.4, 5.6.7.8/16 et 9.10.11.12/18.
- Exercice 56.** Considérez un paquet IP avec 20 octets d'entête et 1500 octets de données. Ce paquet arrive à un routeur qui doit le fragmenter en paquets de 600 octets au maximum. Représentez les paquets résultats, en indiquant pour chaque paquet : son identifiant, le décalage correspondant au début des données, et la valeur du drapeau *MoreFragments*.
- Exercice 57.** Considérez l'exemple de la figure 2. Dessinez les machines manquantes.
- Exercice 58.** Reprenez l'exemple précédent. Considérez qu'un paquet arrive à la machine indiquée *Gateway*. Indiquez l'adresse du prochain saut pour chacune des adresses destination suivantes : 172.15.1.1, 172.16.1.1, 172.16.2.1 et 172.16.12.1.

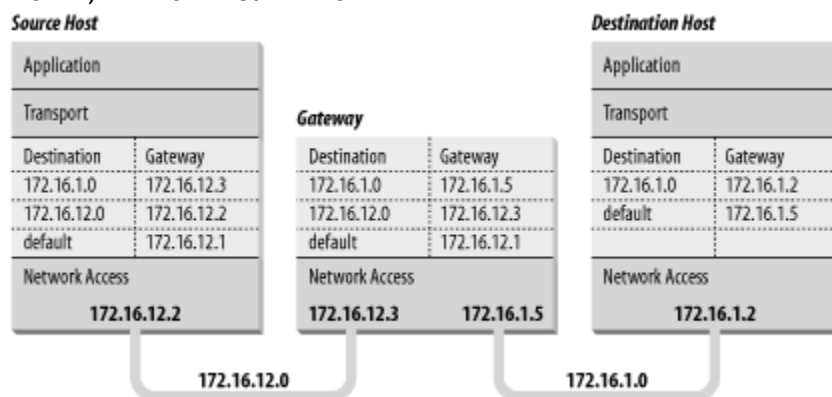


Figure 2 : Exemple de tables d'acheminement pour trois machines (https://docstore.mik.ua/oreilly/networking_2ndEd/tcp/ch02_04.htm, le 6/09/2023).

Exercice 59. Dessinez un réseau de cinq nœuds (A, B, C, D et E) dans lequel A est relié à B et C, B est aussi relié à D, C est aussi relié à D, et D est aussi relié à E. Exécutez RIP sur ce réseau en supposant que les routeurs s'envoient leurs vecteurs de distance dans l'ordre suivant : A, B, C, D puis E.

Exercice 60. Reprenez l'exercice précédent. Combien de temps a pris le protocole pour converger, en sachant que la périodicité de l'envoi des vecteurs de distance est par défaut de 30 secondes ?

Exercice 61. Reprenez l'exercice précédent. Supposons que le lien (C,D) tombe en panne, et concentrons nous sur la destination E. Indiquez la manière dont RIP corrige la panne.

Exercice 62. Reprenez l'exercice précédent. Supposons à présent que le lien (D,E) tombe en panne (en plus de (C,D)), et concentrons nous toujours sur la destination E. Indiquez la manière dont RIP corrige la panne.

Section 2.4 – Couche transport

Exercice 63. Expliquez comment TCP implémente la garantie de livraison.

Exercice 64. Expliquez comment TCP implémente le contrôle de flux.

Exercice 65. Pourquoi TCP implémente-t'il du contrôle de congestion ?

Exercice 66. Pour chaque application suivante, indiquez si elle utilise UDP, TCP, ou les deux : une application de consultation des comptes bancaires, une application de visio-conférence, un jeu de tarot multijoueurs, un jeu de course de voitures, une application de base de données, une application de mise à jour automatique d'un logiciel, et l'application Netflix.

Section 2.5 – Couche session

Exercice 67. Expliquez comment on peut implémenter une couche session au moyen de cookies.

Exercice 68. Expliquez comment on peut implémenter une couche session sans cookies, sans changer le navigateur.

Exercice 69. Commentez les avantages et inconvénients des solutions des deux exercices précédents.

Section 2.6 – Couche présentation

Exercice 70. En C, la fonction *strlen* retourne le nombre d'octets d'une chaîne de caractères terminée par '\0', sans le '\0' terminal. Par exemple, *strlen*(« Bonjour ») retourne 7, et *strlen*(« Aurevoir ») retourne 8. Est-ce que la fonction *strlen* est adaptée pour calculer le nombre de caractères d'une chaîne de caractères terminée par '\0' et venant d'Internet (par exemple : le sujet d'un email que l'on a reçu) ?

Exercice 71. Dans le codage UTF-8, chaque caractère est encodé sur un nombre variable d'octets.

- Si le premier octet commence par le bit 0, le caractère est représenté sur 7 bits.
- Si le premier octet commence par les bits 10, le caractère est représenté sur deux octets, en considérant les 6 bits de poids faible de chacun d'eux.
- Si le premier octet commence par les bits 110, le caractère est représenté sur trois octets, en considérant les 5 bits de poids faible du premier octet, et les 6 bits de poids faible des autres octets.
- Si le premier octet commence par les bits 1110, le caractère est représenté sur quatre octets, en considérant les 4 bits de poids faible du premier octet, et les 6 bits de poids faible des autres octets.

Combien de caractères différents peut-on représenter en UTF-8 ?

Exercice 72. Dans la description d'UTF-8 de l'exercice précédent, les 2 bits de poids fort des octets qui ne sont pas les premiers octets d'un caractère ne sont pas spécifiés. Ils sont égaux à 10. Pourquoi est-ce que la valeur 10 a été choisie, et non pas 00 ou bien 01 ?

Exercice 73. Considérez un texte contenant 5 caractères avec les probabilités suivantes : la fréquence de A est 10%, la fréquence de B est 20%, la fréquence de C est 30%, la fréquence de D est 5%, la fréquence de E est 35%. Représentez l'arbre de Huffman correspondant.

Exercice 74. Reprenez l'exercice précédent, et encodez la chaîne BADACE. Donnez sa taille en bits.

Exercice 75. Reprenez l'exercice précédent, et encodez la chaîne DADADADA. Donnez sa taille en bits.

Exercice 76. Reprenez l'exercice précédent. Sans compression, combien de bits aurait-il fallu pour encoder la chaîne DADADADA ?

Exercice 77. Reprenez l'exercice précédent. Pourquoi la compression avec Huffman est moins efficace que l'absence de compression, pour DADADADA ?

Section 2.7 – Couche application

Exercice 78. Considérez l'échange HTTP suivant :

```
HTTP/2.0 200 OK
Content-Type: text/html
Set-Cookie: délicieux_cookie=choco
Set-Cookie: savoureux_cookie=menthe

[contenu de la page]
```

Figure 3 : exemple de réponse venant d'un serveur HTTP et contenant deux cookies (<https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/HTTP/Cookies>, le 6/09/2023)

Expliquez la signification de chaque ligne (incluant la ligne vide), et ce qu'elle produit chez le navigateur qui la reçoit.

Exercice 79. Un cookie peut-il contenir un virus ?

Exercice 80. Un cookie peut-il être malveillant ?