

INFO-F303 - Réseaux

Guy LEDUC

Résumé du cours

Rodrigue VAN BRANDE  
Antoine DEWILDE (original)

19 janvier 2015

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Résumé</b>	<b>6</b>
1.1	Introduction . . . . .	6
1.1.1	Qu'est-ce qu'Internet ? . . . . .	6
1.1.2	Périphérie du réseau . . . . .	6
1.1.3	Aspects physiques . . . . .	6
1.1.3.1	Limites de débit . . . . .	6
1.1.3.2	Réseau DSL . . . . .	6
1.1.3.3	Réseau câblé et fibre optique . . . . .	7
1.1.3.4	Types de câbles . . . . .	7
1.2	Couche applicative . . . . .	7
1.3	Couche de transport . . . . .	7
1.4	Couche réseau . . . . .	7
1.5	Couche de liaison . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Questions et réponses</b>	<b>7</b>
2.1	Théorie . . . . .	7
2.1.1	Expliquez la différence entre une paire de cuivre torsadée de catégorie 3 et une paire de catégorie 5. Laquelle permet un débit plus élevé et pourquoi? Expliquez la différence entre une fibre optique monomode et une fibre multimode. Laquelle permet un débit plus élevé et pourquoi? Pourquoi utilise-t-on un modem pour transmettre de l'information numérique sur une ligne téléphonique? Comment module-t-on le signal dans les modems « dial-up » les plus courants? . . . . .	7
2.1.2	Définissez les différents types de « Resource Records » utilisés par le protocole DNS et expliquez leur rôle. . . . .	8
2.1.3	10 processus clients communiquent simultanément avec un processus serveur attaché au port 8000. Combien de sockets vont être ouverts par le serveur si les processus communiquent par UDP? Pourquoi? Même question s'ils communiquent par TCP. . . . .	8
2.1.4	Expliquez le principe d'un protocole à fenêtre glissante SR (Selective Repeat). Quelle est la taille maximale de la fenêtre, si les trames sont numérotées modulo k? Pourquoi? . . . . .	8
2.1.5	En première approximation, quels sont les 3 paramètres qui influencent le débit d'une connexion TCP? Expliquez. TCP garantit-il un partage équitable des ressources du réseau par les différentes connexions? Pourquoi? . . . . .	8
2.1.6	Décrivez l'architecture générique d'un routeur et le rôle de chaque composant. Comment peut-on perdre des paquets dans les ports d'entrée? Comment peut-on perdre des paquets dans les ports de sortie? Qu'est-ce que le blocage HOL? . . . . .	9
2.1.7	Décrivez le contenu des paquets de routage et leur méthode de diffusion dans le cas des protocoles à état de lien. En quelques mots, en quoi est-ce fondamentalement différent des protocoles à vecteur de distances? . . . . .	9
2.1.8	Le protocole de routage interdomaine BGP est plus apparenté à la famille des protocoles de routage intradomaine à vecteur de distances (DV) qu'à celle des protocoles à état de lien (LS). Expliquez deux ressemblances importantes entre BGP et un protocole DV. Expliquez deux différences importantes entre BGP et un protocole DV, et leur raison d'être. . . . .	9
2.1.9	Qu'est-ce que le CSMA/CD? En quoi améliore-t-il le CSMA? Quelle contrainte le CSMA/CD introduit-il par rapport au CSMA? Pourquoi? IEEE 802.3 (plus communément appelé Ethernet) est un protocole de type CSMA/CD dont la méthode d'accès a été améliorée. Quelle est cette amélioration? IEEE 802.3 (plus communément appelé Ethernet) est un protocole de type CSMA/CD dont la méthode d'accès a été améliorée. Quelle est cette amélioration? . . . . .	9
2.1.10	On ne peut pas dire que les commutateurs Ethernet exécutent un protocole de routage (au sens de la couche 3), mais ils construisent toutefois des tables d'acheminement comme si un protocole de routage était à l'oeuvre. Expliquez comment ces tables sont construites, y compris quand plusieurs commutateurs sont interconnectés. . . . .	10

2.1.11	Un chercheur connecte son ordinateur portable à un commutateur Ethernet de son département. Il démarre son browser pour afficher la page web de <code>www.google.com</code> . Identifiez les protocoles mis en oeuvre, et dans l'ordre chronologique, entre le moment où l'ordinateur se connecte et le moment où la page d'accueil de Google s'affiche. Précisez au passage le rôle de chaque protocole et décrivez-les succinctement. . . . .	10
2.1.12	Expliquez la dispersion de délai dans une fibre optique. Quelle en est la conséquence ? Dans quel type de fibre la rencontre-t-on ? . . . . .	10
2.1.13	Définissez les différents types de « Resource Records (RR) » utilisés par le protocole DNS et expliquez leur rôle. Donnez le scénario d'échange de messages DNS, par la méthode itérative, permettant à un client de trouver l'adresse IP d'un serveur web dont l'URL est <code>www.company.com</code> , <i>en indiquant les RR présents dans ces messages</i> . On supposera que les caches DNS sont vides. . . . .	10
2.1.14	Expliquez le principe d'un protocole à fenêtre glissante GBN (Go-back N). Quelle est la taille maximale de la fenêtre de l'émetteur, si les trames sont numérotées modulo $k$ ? Pourquoi ? Citez et expliquez 4 différences apportées par le protocole SR (Selective Repeat). . . . .	11
2.1.15	Expliquez l'établissement de connexion « 3-way handshake » utilisé dans le protocole de transport TCP, en indiquant les paramètres importants présents dans les échanges et leurs rôles. Expliquez avec l'aide d'un exemple pourquoi un « 2-way handshake » ne serait pas suffisant. . . . .	11
2.1.16	Comment l'émetteur TCP détecte-t-il une congestion ? Décrivez le mécanisme de contrôle de congestion de TCP. Quelle distinction TCP fait-il entre congestion légère et congestion sévère ? Comment réagit-il dans chaque cas ? Quelle distinction TCP fait-il entre congestion légère et congestion sévère ? Comment réagit-il dans chaque cas ? . . . . .	11
2.1.17	Énoncez les différents types de matrice de commutation (« switch fabric ») rencontrées dans les routeurs, ainsi que leurs avantages/inconvénients respectifs. Expliquez la raison d'être et l'inconvénient potentiel d'une bufferisation au niveau des ports d'entrées. Expliquez la raison d'être d'une bufferisation au niveau des ports de sortie. . . . .	11
2.1.18	Expliquez le principe du « Longest Prefix Match » lors de l'acheminement de paquets IP. Quel est son intérêt ? . . . . .	12
2.1.19	Le protocole de routage interdomaine BGP est plus apparenté à la famille des protocoles de routage intradomaine à vecteur de distances (DV) qu'à celle des protocoles à état de lien (LS). Expliquez deux ressemblances importantes entre BGP et un protocole DV. Expliquez deux différences importantes entre BGP et un protocole DV, et leur raison d'être. . . . .	12
2.1.20	Expliquez le rôle et le principe général des codes détecteurs d'erreur. Pourquoi ne peuvent-ils être efficaces à 100% ? Donnez un exemple de code détecteur d'erreur plus élaboré que le bit de parité, et expliquez son principe. . . . .	12
2.1.21	Expliquez le principe du multiplexage en longueur d'onde (WDM). Quel est son intérêt ? Comparez WDM aux techniques classiques de multiplexage TDM et FDM. . . . .	12
2.1.22	Vous créez votre entreprise « MeMyself&I » et vous obtenez le nom de domaine « <code>memyselfandi.com</code> ». Vous souhaitez déployer votre propre serveur DNS pour ce domaine ( <code>dns.memyselfandi.com</code> , <code>111.111.111.111</code> ), ainsi qu'un serveur Web <code>www.memyselfandi.com</code> , <code>111.111.111.112</code> ). Quelles informations doivent être ajoutées dans la hiérarchie DNS et à quel niveau ? Soyez précis. Donnez un scénario typique d'échange de messages DNS permettant à un client de trouver l'adresse IP de votre serveur web, en précisant bien les éléments importants des messages DNS. On supposera que les caches DNS sont vides. . . . .	13
2.1.23	Pourquoi la couche de transport (UDP et TCP) comporte-t-elle une fonction de démultiplexage ? Décrivez les techniques de démultiplexage effectuées par UDP et TCP en mettant bien en évidence leurs différences ? . . . . .	13
2.1.24	Donnez 4 éléments majeurs des protocoles « Go-Back-N » et « Selective Repeat » qui permettent de les différencier. Pour chacun de ces éléments pris indépendamment, indiquez si TCP s'apparente davantage à l'un d'eux. Expliquez. Quelle optimisation supplémentaire, liée au contrôle d'erreur, TCP y apporte-t-il ? . . . . .	13
2.1.25	Expliquez le principe de NAT et la structure d'une table NAT. . . . .	13

2.1.26	Quand des flux TCP et UDP partagent un même lien congestionné, comment réagissent ces deux types de flux et quelles en sont les conséquences ? . . . . .	13
2.1.27	Nommez et expliquez succinctement les 2 grandes familles de protocoles de routage intradomaine (IGP) en insistant sur leurs différences. Expliquez en quoi et pourquoi le protocole de routage interdomaine de l'Internet (BGP) est différent des protocoles de routage intradomaine (IGP) déployés dans les divers systèmes autonomes (AS) qui composent l'Internet. . . . .	14
2.1.28	Expliquez comment un routeur construit les entrées de sa table d'acheminement pour les préfixes IP extérieurs à son domaine. . . . .	14
2.1.29	Décrivez le protocole CSMA. Pourquoi et comment a-t-il été amélioré ? Citez les paramètres qui caractérisent un réseau CSMA. Quelle relation entre ces paramètres faut-il viser pour que le réseau CSMA ait des performances acceptables ? Expliquez. . . . .	14
2.1.30	Considérez 3 réseaux Ethernet ( $N_1$ , $N_2$ et $N_3$ ), un commutateur Ethernet ( $C$ ) et un routeur ( $R$ ) interconnectés selon une topologie en ligne $N_1$ - $C$ - $N_2$ - $R$ - $N_3$ . Une station $H_A$ (d'adresse $IP_A$ ) est attachée au réseau $N_1$ (par l'adresse $MAC_A$ ) et une station $H_B$ (d'adresse $IP_B$ ) est attachée au réseau $N_3$ (par l'adresse $MAC_B$ ). $C$ a deux adresses $MAC$ : $MAC_{11}$ sur $N_1$ et $MAC_{12}$ sur $N_2$ . $R$ a deux adresses $MAC$ et deux adresses $IP$ : $MAC_{22}$ et $IP_2$ sur $N_2$ et $MAC_{23}$ et $IP_3$ sur $N_3$ . Dessinez la configuration. $H_A$ envoie un paquet $IP$ à $H_B$ . Si l'on suppose que les correspondances entre adresses $IP$ et $MAC$ sont connues de tous, décrivez les trois trames qui circulent respectivement sur les réseaux $N_1$ , $N_2$ et $N_3$ en vous limitant aux champs d'adresses des trames et aux champs d'adresses et de $TTL$ (Time To Live) du paquet $IP$ contenu dans la trame. Justifiez. Par quel protocole les correspondances entre adresses $IP$ et $MAC$ ont-elles été découvertes ? Décrivez les échanges de ce protocole qui réalisent les mises en correspondance nécessaires lorsque $H_A$ envoie son paquet $IP$ à $H_B$ . Mentionnez toutes les adresses présentes dans les messages échangés. . . . .	14
2.1.31	Citez une fonction majeure de chacune des 5 couches de la pile de protocoles Internet. . . . .	15
2.1.32	Pourquoi est-il plus difficile de fixer la durée du timer de retransmission de TCP que celle du timer de retransmission d'un protocole de liaison de donnée ? Comment fixe-t-on la durée du timer de retransmission de TCP ? . . . . .	15
2.1.33	Expliquez la raison d'être des protocoles DHCP et NAT, et expliquez leur fonctionnement à l'aide de scénarios typiques. . . . .	15
2.1.34	Expliquez comment les commutateurs Ethernet apprennent où se trouvent les stations et par quel type d'adresse ils les identifient. Comment les pannes de stations ou leur mobilité sont-elles prises en compte ? En quelques mots, quelle contrainte topologique doit être respectée pour que cet apprentissage fonctionne, et comment la réalise-t-on ? . . . . .	15
2.1.35	Citez et définissez les différentes sources de délai que subit un paquet dans un réseau datagramme. . . . .	15
2.1.36	Décrivez sommairement le fonctionnement du système DNS. Comparez les deux modes de fonctionnement du protocole (avantages et inconvénients). . . . .	16
2.1.37	Expliquer les principes de la programmation socket donnant accès aux services TCP et UDP. Quelles sont les différences importantes entre ces deux API ? Dans une entité de transport, comment les sockets TCP et UDP sont-ils identifiés ? Pourquoi ? . . . . .	16
2.1.38	Dans un protocole de transport, si l'on numérote les segments modulo 2, montrez par un contreexemple qu'il est également nécessaire de numéroter les acquits pour assurer la fiabilité du transfert. Dans quelle(s) situation(s) le protocole à bit alterné est-il quasiment aussi efficace qu'un protocole à grande fenêtre glissante ? Expliquez. . . . .	16
2.1.39	Expliquez les circonstances dans lesquelles l'émetteur TCP peut recevoir trois doublons d'acquits venant du récepteur TCP. Décrivez deux actions importantes de l'émetteur TCP lorsque cela se produit et expliquez-en les raisons. . . . .	16
2.1.40	Expliquez le principe général du contrôle de <i>flux</i> de TCP. Expliquez deux mécanismes associés ayant pour but de permettre à TCP de s'adapter aux spécificités des applications ou de se protéger vis-à-vis de celles-ci. . . . .	17
2.1.41	Combien d'adresses IP doit-on attribuer à un routeur ? Pourquoi ? . . . . .	17

2.1.42	Considérez un protocole de routage à états de liens (link state). Décrivez le contenu des paquets de routage, expliquez le rôle de chaque champ, et décrivez la méthode de diffusion des paquets. En quelques mots, en quoi est-ce fondamentalement différent des protocoles à vecteur de distances ? . . . . .	17
2.1.43	Décrivez les principes du protocole de routage inter-domaine BGP. Expliquez comment BGP permet à un réseau périphérique (« stub ») multi-connecté (« multihomed ») de ne pas accepter du trafic de transit. . . . .	17
2.1.44	Sachant que la couche de transport est équipée de mécanismes (Cf. TCP) pour récupérer les erreurs de bout-en-bout, pourquoi la couche de liaison de données implémente-t-elle aussi toute une série de fonctions de ce type, comme la détection d'erreurs, voire même la retransmission de trames erronées dans certains cas. . . . .	17
2.1.45	Dans un réseau local composé de plusieurs segments Ethernet interconnectés par des commutateurs Ethernet, un ordinateur peut-il conserver son adresse IP si on le change de segment ? Pourquoi ? En est-il de même si les segments sont interconnectés par des routeurs ? Pourquoi ? Pourquoi est-il plus intéressant d'interconnecter des segments Ethernet par des commutateurs Ethernet plutôt que par des hubs ? . . . . .	18
2.1.46	Expliquez la différence entre une fibre optique multimode et une fibre monomode. Laquelle permet un débit plus élevé ? Pourquoi ? Expliquez le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Quel est son intérêt ? Expliquez le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Quel est son intérêt ? . . . . .	18
2.1.47	Quel mécanisme est utilisé par un serveur Web pour conserver de l'état relatif aux usagers ? Expliquez le principe en l'illustrant sur un scénario. Expliquez le fonctionnement de HTTP avec proxy-cache à partir d'un scénario impliquant le client, le serveur et le proxy. Expliquez le gain d'efficacité lorsque l'objet est en cache. . . . .	18
2.1.48	Dans un protocole de transport, si l'on numérote les segments modulo 2, montrez par un contreexemple qu'il est également nécessaire de numéroter les acquits pour assurer la fiabilité du transfert. Dans quelle(s) situation(s) le protocole à bit alterné est-il quasiment aussi efficace qu'un protocole à grande fenêtre glissante ? Expliquez. . . . .	18
2.1.49	Dans les protocoles à fenêtre glissante de type « selective repeat », quelles sont les relations qui sont satisfaites à tout instant entre les quatre valeurs suivantes : les bords inférieurs et supérieurs des fenêtres de l'émetteur et du récepteur ? Justifiez. . . . .	19
2.1.50	Dans TCP, comment fixe-t-on les numéros des premiers segments transmis dans chaque sens d'une connexion ? Si l'on attribuait systématiquement la valeur 0 (par exemple) à ces premiers numéros, quel serait le risque et comment pourrait-on l'éviter en conservant toutefois cette numérotation ? Quel serait l'inconvénient ? . . . . .	19
2.1.51	Dans quelle(s) situation(s) le protocole de routage à vecteur de distances (DV) risque-t-il de ne pas converger ? Décrivez un comportement pathologique possible à l'aide d'un exemple simple. Comment peut-on atténuer ce phénomène ? . . . . .	19
2.1.52	Décrivez les principes du protocole de routage inter-domaine BGP. Expliquez comment BGP permet à un réseau périphérique (« stub ») multi-connecté (« multihomed ») de ne pas accepter du trafic de transit. . . . .	19
2.1.53	Déterminez analytiquement l'expression de l'efficacité du protocole ALOHA discrétisé (slotted ALOHA) en fonction de la charge du réseau pour un grand nombre de stations actives. On supposera que chaque station émet dans un slot avec une probabilité $p$ . Représentez l'efficacité graphiquement (avec définition des axes), et expliquez la forme de la courbe. La suppression des slots (Cf. ALOHA pur) améliore-t-elle les performances ? Pourquoi ? . . . . .	20
2.2	Pratique . . . . .	20

# 1 Résumé

## 1.1 Introduction

### 1.1.1 Qu'est-ce qu'Internet ?

Le réseau est composé de

- **Système d'extrémité (end systems)** est un hôte, qui utilise des applications réseaux.
- **Liens de communication (communication links)** sont des point d'accès WiFi, câbles, ...

Pour communiquer entre eux, les systèmes périphériques utilisent différents *protocoles*. Un protocole est un algorithme décrivant la méthode utilisée pour l'envoi de données à travers le réseau. Ils définissent plusieurs choses, comme le type de routage et de gestion des congestions, c'est-à-dire qu'ils définissent par où acheminer les paquets pour limiter la charge, éviter les obstacles, etc. Certains protocoles garantissent la fiabilité des transferts (tous les paquets arrivent, et dans le bon ordre), d'autres font moins de vérifications mais sont plus rapides, etc.

### 1.1.2 Périphérie du réseau

La périphérie du réseau (ou network edge) est l'ensemble des applications et systèmes qui utilisent le réseau (par opposition aux liens et routeurs qui forment le cœur du réseau). Elle est généralement organisée selon un de ces deux modèles : Modèle client/serveur Une machine (le serveur) contient les informations et est toujours présente sur le réseau. D'autres machines (les clients) se connectent à celle-ci pour communiquer ; ils peuvent se connecter et se déconnecter à tout moment ; les communications ne se font qu'entre clients et serveur. Modèle peer-to-peer Chaque système est à la fois client et serveur. L'information est décentralisée, et les différents systèmes communiquent entre eux directement.

### 1.1.3 Aspects physiques

Pour transmettre des données, on peut utiliser le réseau téléphonique classique. Pour cela, on utilise un modem qui permet de (dé)coder l'information. Il existe plusieurs types de modulation : Modulation d'amplitude (AM) Pour coder un signal binaire, on change l'amplitude de l'onde selon que le bit soit à 1 ou à 0 Modulation de fréquence (FM) Pour coder un signal binaire, on change la fréquence de l'onde selon que le bit soit à 1 ou à 0 De plus, pour augmenter le débit, on essaye de coder plusieurs bits d'un coup en combinant ces techniques (on peut par exemple utiliser la phase et la fréquence pour coder plusieurs bits d'un coup). On mesure alors le débit en baud, 1 baud étant 1 symbole/seconde (c'est-à-dire 1 ensemble de bits par seconde)

#### 1.1.3.1 Limites de débit

Avec le réseau téléphonique classique, le baud-rate (quantité de bauds par seconde) est limitée à 4KHz, car c'est la fréquence prévue pour le téléphone (fréquence de la voix humaine). On ne peut donc coder qu'un nombre limité de bits par bauds. De plus, il y a une limite au maintien du signal : au minimum 1/2 période (sous ce seuil, on ne sait plus interpréter le signal de manière univoque car on ne connaît p.e. pas l'amplitude). Enfin, il y a une limitation quand à la quantité de bits codés par baud : on ne peut pas prendre une amplitude trop grande pour coder les différents ensembles de bits, sans quoi on risque de griller le fil de cuivre. De plus, le data-rate (nombre de bits par seconde) est limité aussi, mais par la loi de Shannon. En effet, moins le signal est maintenu longtemps, plus le bruit est important, ce qui limite donc le débit.

#### 1.1.3.2 Réseau DSL

Le réseau DSL utilise la même technique que la connexion dial-up, à la différence qu'on utilise d'autres bandes de fréquences. Cela permet de pouvoir téléphoner et utiliser le réseau simultanément, mais cela nécessite un équipement un peu plus important. On sépare aussi le trafic "upstream" (vers le réseau) du trafic "downstream" (venant du réseau), en donnant au premier une bande de fréquences moins importante, car on suppose qu'on recevra plus de données qu'on en enverra la plupart du temps.

### 1.1.3.3 Réseau câblé et fibre optique

Cette fois, on n'utilise plus les fils de cuivre du réseau téléphonique comme support, mais le câble TV et de la fibre optique (généralement un mélange des deux). A la différence de l'ADSL, l'accès au réseau par câble est partagé, c'est-à-dire que les différents utilisateurs partagent la même connexion, et donc les données et le débit. C'est fort pratique pour la télévision (usage prévu de la fibre optique/coaxial), mais ça peut poser des problèmes pour Internet (en termes de débit ou de protection des données).

### 1.1.3.4 Types de câbles

Historiquement, on utilise des câbles composés de deux fils de cuivre torsadés. Ils sont torsadés pour limiter le courant induit (le passage de courant dans le fil crée un champ magnétique, et le passage de ce champ dans la boucle crée un autre courant, plus faible, en sens inverse), et au plus ils sont torsadés, au plus cela a de l'incidence sur le débit offert (on réduit le bruit, donc par la loi de Shannon on peut augmenter le signal). Le câble coaxial fonctionne sur le même principe, à la différence que les conducteurs sont concentriques (il y a un fil de cuivre à l'intérieur, puis une couche d'isolant, un autre fil de cuivre et le plastique qui entoure le câble). Enfin, il y a la fibre optique, qui transporte l'information sous forme d'impulsions lumineuses. Elles permettent le transfert de données à grande vitesse (vitesse de la lumière dans le verre) et sont insensibles aux perturbations électromagnétiques (contrairement aux fils de cuivre), mais il y a un problème lié à la réfraction de la lumière. En effet, si on envoie une série de photons au même instant au départ, ils auront tous un angle de départ différent, donc un angle d'incidence différent aux bords de la fibre. Du coup, ils ne seront pas réfléchis avec le même angle, ce qui signifie que certains feront plus de "rebonds" que d'autres, donc parcourront plus de distance, donc arriveront plus tard. Au final, une impulsion lumineuse arrive dispersée, ce qui ralentit le débit puisqu'il faut attendre l'arrivée de tous les photons avant d'envoyer l'impulsion suivante. Pour régler ce problème, plusieurs types de fibre ont été inventés : Fibre multimode Il s'agit du type de fibre qui ne résout pas le problème décrit : les photons sont dispersés et arrivent avec un certain décalage ; tant pis, on fait avec Fibre monomode Ce type de fibre résout le problème en laissant une zone de propagation extrêmement étroite ( $2.4 \mu m$ ). De cette manière, les photons seront presque parallèles à la fibre ; ils se réfléchissent donc très peu sur les parois et seront peu dispersés Fibre multimode à coefficient variable Ce type de fibre ressemble à la fibre multimode, à la différence que le coefficient de réfraction est différent en tout point de la fibre. De cette manière, on s'arrange pour que les photons qui s'approchent du bord de la fibre soient accélérés par rapport à ceux allant "tout droit". Au final, certains photons auront donc fait plus de chemins que d'autres, mais ils arriveront en même temps puisque leur vitesse varie.

## 1.2 Couche applicative

## 1.3 Couche de transport

## 1.4 Couche réseau

## 1.5 Couche de liaison

# 2 Questions et réponses

## 2.1 Théorie

### 2.1.1

- Expliquez la différence entre une paire de cuivre torsadée de catégorie 3 et une paire de catégorie 5. Laquelle permet un débit plus élevé et pourquoi ?
- Expliquez la différence entre une fibre optique monomode et une fibre multimode. Laquelle permet un débit plus élevé et pourquoi ?
- Pourquoi utilise-t-on un modem pour transmettre de l'information numérique sur une ligne téléphonique ? Comment module-t-on le signal dans les modems « dial-up » les plus courants ?

réponse réponse

### 2.1.2 Définissez les différents types de « Resource Records » utilisés par le protocole DNS et expliquez leur rôle.

réponse réponse

### 2.1.3 10 processus clients communiquent simultanément avec un processus serveur attaché au port 8000.

- (a) Combien de sockets vont être ouverts par le serveur si les processus communiquent par UDP ? Pourquoi ?
- (b) Même question s'ils communiquent par TCP.

réponse réponse

### 2.1.4

- (a) Expliquez le principe d'un protocole à fenêtre glissante SR (Selective Repeat).
- (b) Quelle est la taille maximale de la fenêtre, si les trames sont numérotées modulo  $k$  ? Pourquoi ?

réponse réponse

### 2.1.5

- (a) En première approximation, quels sont les 3 paramètres qui influencent le débit d'une connexion TCP ? Expliquez.
- (b) TCP garantit-il un partage équitable des ressources du réseau par les différentes connexions ? Pourquoi ?

réponse réponse



**2.1.6**

- (a) Décrivez l'architecture générique d'un routeur et le rôle de chaque composant.
- (b) Comment peut-on perdre des paquets dans les ports d'entrée ?
- (c) Comment peut-on perdre des paquets dans les ports de sortie ?
- (d) Qu'est-ce que le blocage HOL ?

réponse réponse

**2.1.7 Décrivez le contenu des paquets de routage et leur méthode de diffusion dans le cas des protocoles à état de lien. En quelques mots, en quoi est-ce fondamentalement différent des protocoles à vecteur de distances ?**

réponse réponse

**2.1.8 Le protocole de routage interdomaine BGP est plus apparenté à la famille des protocoles de routage intradomaine à vecteur de distances (DV) qu'à celle des protocoles à état de lien (LS).**

- (a) Expliquez deux ressemblances importantes entre BGP et un protocole DV.
- (b) Expliquez deux différences importantes entre BGP et un protocole DV, et leur raison d'être.

réponse réponse

**2.1.9**

- (a) Qu'est-ce que le CSMA/CD ? En quoi améliore-t-il le CSMA ?
- (b) Quelle contrainte le CSMA/CD introduit-il par rapport au CSMA ? Pourquoi ?
- (c) IEEE 802.3 (plus communément appelé Ethernet) est un protocole de type CSMA/CD dont la méthode d'accès a été améliorée. Quelle est cette amélioration ?
- (d) Expliquez pourquoi, si l'on veut garder le même format de trame, la méthode CSMA/CD exige de raccourcir le réseau pour atteindre des débits plus élevés. Il est toutefois possible de ne pas respecter cette longueur maximale du réseau, qui devient très contraignante à haut débit. Dans quelles conditions ?

réponse réponse

**2.1.10** On ne peut pas dire que les commutateurs Ethernet exécutent un protocole de routage (au sens de la couche 3), mais ils construisent toutefois des tables d'acheminement comme si un protocole de routage était à l'oeuvre. Expliquez comment ces tables sont construites, y compris quand plusieurs commutateurs sont interconnectés.

réponse réponse

**2.1.11** Un chercheur connecte son ordinateur portable à un commutateur Ethernet de son département. Il démarre son browser pour afficher la page web de `www.google.com`.

- (a) Identifiez les protocoles mis en oeuvre, et dans l'ordre chronologique, entre le moment où l'ordinateur se connecte et le moment où la page d'accueil de Google s'affiche.
- (b) Précisez au passage le rôle de chaque protocole et décrivez-les succinctement.

réponse réponse

**2.1.12**

- (a) Expliquez la dispersion de délai dans une fibre optique.
- (b) Quelle en est la conséquence ?
- (c) Dans quel type de fibre la rencontre-t-on ?

réponse réponse

**2.1.13**

- (a) Définissez les différents types de « Resource Records (RR) » utilisés par le protocole DNS et expliquez leur rôle.
- (b) Donnez le scénario d'échange de messages DNS, par la méthode itérative, permettant à un client de trouver l'adresse IP d'un serveur web dont l'URL est `www.company.com`, *en indiquant les RR présents dans ces messages*. On supposera que les caches DNS sont vides.

réponse réponse

**2.1.14**

- (a) Expliquez le principe d'un protocole à fenêtre glissante GBN (Go-back N).
- (b) Quelle est la taille maximale de la fenêtre de l'émetteur, si les trames sont numérotées modulo  $k$  ? Pourquoi ?

- (c) Citez et expliquez 4 différences apportées par le protocole SR (Selective Repeat).

réponse réponse

#### 2.1.15

- (a) Expliquez l'établissement de connexion « 3-way handshake » utilisé dans le protocole de transport TCP, en indiquant les paramètres importants présents dans les échanges et leurs rôles.
- (b) Expliquez avec l'aide d'un exemple pourquoi un « 2-way handshake » ne serait pas suffisant.

réponse réponse

#### 2.1.16

- (a) Comment l'émetteur TCP détecte-t-il une congestion ?
- (b) Décrivez le mécanisme de contrôle de congestion de TCP.
- (c) Quelle distinction TCP fait-il entre congestion légère et congestion sévère ? Comment réagit-il dans chaque cas ?
- (d) Si on néglige les effets du contrôle de flux, ce contrôle de congestion détermine largement le débit moyen d'une connexion TCP. Quand plusieurs connexions TCP sont en compétition, se partagent-elles la bande passante disponible de façon équitable. Expliquez.

réponse réponse

#### 2.1.17

- (a) Énoncez les différents types de matrice de commutation (« switch fabric ») rencontrées dans les routeurs, ainsi que leurs avantages/inconvénients respectifs.
- (b) Expliquez la raison d'être et l'inconvénient potentiel d'une bufferisation au niveau des ports d'entrées.
- (c) Expliquez la raison d'être d'une bufferisation au niveau des ports de sortie.

réponse réponse

**2.1.18**

- (a) Expliquez le principe du « Longest Prefix Match » lors de l'acheminement de paquets IP.  
 (b) Quel est son intérêt ?

réponse réponse

**2.1.19 Le protocole de routage interdomaine BGP est plus apparenté à la famille des protocoles de routage intradomaine à vecteur de distances (DV) qu'à celle des protocoles à état de lien (LS).**

- (a) Expliquez deux ressemblances importantes entre BGP et un protocole DV.  
 (b) Expliquez deux différences importantes entre BGP et un protocole DV, et leur raison d'être.

réponse réponse

**2.1.20**

- (a) Expliquez le rôle et le principe général des codes détecteurs d'erreur.  
 (b) Pourquoi ne peuvent-ils être efficaces à 100% ?  
 (c) Donnez un exemple de code détecteur d'erreur plus élaboré que le bit de parité, et expliquez son principe.

réponse réponse

**2.1.21**

- (a) Expliquez le principe du multiplexage en longueur d'onde (WDM). Quel est son intérêt ?  
 (b) Comparez WDM aux techniques classiques de multiplexage TDM et FDM.

réponse réponse

**2.1.22 Vous créez votre entreprise « MeMyself&I » et vous obtenez le nom de domaine « me-myselfandi.com ». Vous souhaitez déployer votre propre serveur DNS pour ce domaine (dns.memyselfandi.com, 111.111.111.111), ainsi qu'un serveur Web www.memyselfandi.com, 111.111.111.112).**

- (a) Quelles informations doivent être ajoutées dans la hiérarchie DNS et à quel niveau ? Soyez précis.

- (b) **Donnez un scénario typique d'échange de messages DNS permettant à un client de trouver l'adresse IP de votre serveur web, en précisant bien les éléments importants des messages DNS. On supposera que les caches DNS sont vides.**

réponse réponse

#### 2.1.23

- (a) **Pourquoi la couche de transport (UDP et TCP) comporte-t-elle une fonction de démultiplexage ?**
- (b) **Décrivez les techniques de démultiplexage effectuées par UDP et TCP en mettant bien en évidence leurs différences ?**

réponse réponse

#### 2.1.24

- (a) **Donnez 4 éléments majeurs des protocoles « Go-Back-N » et « Selective Repeat » qui permettent de les différencier.**
- (b) **Pour chacun de ces éléments pris indépendamment, indiquez si TCP s'apparente davantage à l'un d'eux. Expliquez.**
- (c) **Quelle optimisation supplémentaire, liée au contrôle d'erreur, TCP y apporte-t-il ?**

réponse réponse

#### 2.1.25 Expliquez le principe de NAT et la structure d'une table NAT.

réponse réponse

#### 2.1.26 Quand des flux TCP et UDP partagent un même lien congestionné, comment réagissent ces deux types de flux et quelles en sont les conséquences ?

réponse réponse

## 2.1.27

- (a) Nommez et expliquez succinctement les 2 grandes familles de protocoles de routage intra-domaine (IGP) en insistant sur leurs différences.
- (b) Expliquez en quoi et pourquoi le protocole de routage interdomaine de l'Internet (BGP) est différent des protocoles de routage intradomaine (IGP) déployés dans les divers systèmes autonomes (AS) qui composent l'Internet.

réponse réponse

## 2.1.28 Expliquez comment un routeur construit les entrées de sa table d'acheminement pour les préfixes IP extérieurs à son domaine.

réponse réponse

## 2.1.29

- (a) Décrivez le protocole CSMA.
- (b) Pourquoi et comment a-t-il été amélioré ?
- (c) Citez les paramètres qui caractérisent un réseau CSMA. Quelle relation entre ces paramètres faut-il viser pour que le réseau CSMA ait des performances acceptables ? Expliquez.

réponse réponse

2.1.30 Considérez 3 réseaux Ethernet ( $N_1$ ,  $N_2$  et  $N_3$ ), un commutateur Ethernet ( $C$ ) et un routeur ( $R$ ) interconnectés selon une topologie en ligne  $N_1-C-N_2-R-N_3$ . Une station  $H_A$  (d'adresse  $IP_A$ ) est attachée au réseau  $N_1$  (par l'adresse  $MAC_A$ ) et une station  $H_B$  (d'adresse  $IP_B$ ) est attachée au réseau  $N_3$  (par l'adresse  $MAC_B$ ).  $C$  a deux adresses  $MAC$  :  $MAC_{11}$  sur  $N_1$  et  $MAC_{12}$  sur  $N_2$ .  $R$  a deux adresses  $MAC$  et deux adresses  $IP$  :  $MAC_{22}$  et  $IP_2$  sur  $N_2$  et  $MAC_{23}$  et  $IP_3$  sur  $N_3$ .

- (a) Dessinez la configuration.  $H_A$  envoie un paquet  $IP$  à  $H_B$ . Si l'on suppose que les correspondances entre adresses  $IP$  et  $MAC$  sont connues de tous, décrivez les trois trames qui circulent respectivement sur les réseaux  $N_1$ ,  $N_2$  et  $N_3$  en vous limitant aux champs d'adresses des trames et aux champs d'adresses et de  $TTL$  (Time To Live) du paquet  $IP$  contenu dans la trame. Justifiez.
- (b) Par quel protocole les correspondances entre adresses  $IP$  et  $MAC$  ont-elles été découvertes ? Décrivez les échanges de ce protocole qui réalisent les mises en correspondance nécessaires lorsque  $H_A$  envoie son paquet  $IP$  à  $H_B$ . Mentionnez toutes les adresses présentes dans les messages échangés.

réponse réponse

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse

**2.1.31 Citez une fonction majeure de chacune des 5 couches de la pile de protocoles Internet.**

réponse réponse

**2.1.32**

- (a) Pourquoi est-il plus difficile de fixer la durée du timer de retransmission de TCP que celle du timer de retransmission d'un protocole de liaison de donnée ?
- (b) Comment fixe-t-on la durée du timer de retransmission de TCP ?

réponse réponse

**2.1.33 Expliquez la raison d'être des protocoles DHCP et NAT, et expliquez leur fonctionnement à l'aide de scénarios typiques.**

réponse réponse

**2.1.34**

- (a) Expliquez comment les commutateurs Ethernet apprennent où se trouvent les stations et par quel type d'adresse ils les identifient.
- (b) Comment les pannes de stations ou leur mobilité sont-elles prises en compte ?
- (c) En quelques mots, quelle contrainte topologique doit être respectée pour que cet apprentissage fonctionne, et comment la réalise-t-on ?

réponse réponse

**2.1.35 Citez et définissez les différentes sources de délai que subit un paquet dans un réseau datagramme.**

réponse réponse

**2.1.36**

- (a) Décrivez sommairement le fonctionnement du système DNS.
- (b) Comparez les deux modes de fonctionnement du protocole (avantages et inconvénients).

réponse réponse

**2.1.37**

- (a) Expliquer les principes de la programmation socket donnant accès aux services TCP et UDP.
- (b) Quelles sont les différences importantes entre ces deux API ?
- (c) Dans une entité de transport, comment les sockets TCP et UDP sont-ils identifiés ? Pourquoi ?

réponse réponse

**2.1.38**

- (a) Dans un protocole de transport, si l'on numérote les segments modulo 2, montrez par un contreexemple qu'il est également nécessaire de numéroter les acquits pour assurer la fiabilité du transfert.
- (b) Dans quelle(s) situation(s) le protocole à bit alterné est-il quasiment aussi efficace qu'un protocole à grande fenêtre glissante ? Expliquez.

réponse réponse

**2.1.39**

- (a) Expliquez les circonstances dans lesquelles l'émetteur TCP peut recevoir trois doublons d'acquits venant du récepteur TCP.
- (b) Décrivez deux actions importantes de l'émetteur TCP lorsque cela se produit et expliquez-en les raisons.

réponse réponse



**2.1.40**

- (a) Expliquez le principe général du contrôle de *flux* de TCP.
- (b) Expliquez deux mécanismes associés ayant pour but de permettre à TCP de s'adapter aux spécificités des applications ou de se protéger vis-à-vis de celles-ci.

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse

**2.1.41 Combien d'adresses IP doit-on attribuer à un routeur ? Pourquoi ?**

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse

**2.1.42**

- (a) Considérez un protocole de routage à états de liens (link state). Décrivez le contenu des paquets de routage, expliquez le rôle de chaque champ, et décrivez la méthode de diffusion des paquets.
- (b) En quelques mots, en quoi est-ce fondamentalement différent des protocoles à vecteur de distances ?

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse

**2.1.43**

- (a) Décrivez les principes du protocole de routage inter-domaine BGP.
- (b) Expliquez comment BGP permet à un réseau périphérique (« stub ») multi-connecté (« multihomed ») de ne pas accepter du trafic de transit.

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse

**2.1.44 Sachant que la couche de transport est équipée de mécanismes (Cf. TCP) pour récupérer les erreurs de bout-en-bout, pourquoi la couche de liaison de données implémente-t-elle aussi toute une série de fonctions de ce type, comme la détection d'erreurs, voire même la retransmission de trames erronées dans certains cas.**

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse

**2.1.45**

- (a) Dans un réseau local composé de plusieurs segments Ethernet interconnectés par des commutateurs Ethernet, un ordinateur peut-il conserver son adresse IP si on le change de segment ? Pourquoi ?
- (b) En est-il de même si les segments sont interconnectés par des routeurs ? Pourquoi ?
- (c) Pourquoi est-il plus intéressant d'interconnecter des segments Ethernet par des commutateurs Ethernet plutôt que par des hubs ?

réponse réponse

**2.1.46**

- (a) Expliquez la différence entre une fibre optique multimode et une fibre monomode.
- (b) Laquelle permet un débit plus élevé ? Pourquoi ?
- (c) Expliquez le multiplexage en longueur d'onde (WDM). Quel est son intérêt ?
- (d) Comparez TDM, FDM et WDM.

réponse réponse

**2.1.47**

- (a) Quel mécanisme est utilisé par un serveur Web pour conserver de l'état relatif aux usagers ? Expliquez le principe en l'illustrant sur un scénario.
- (b) Expliquer le fonctionnement de HTTP avec proxy-cache à partir d'un scénario impliquant le client, le serveur et le proxy. Expliquez le gain d'efficacité lorsque l'objet est en cache.

réponse réponse

**2.1.48**

- (a) Dans un protocole de transport, si l'on numérote les segments modulo 2, montrez par un contreexemple qu'il est également nécessaire de numérotter les acquits pour assurer la fiabilité du transfert.
- (b) Dans quelle(s) situation(s) le protocole à bit alterné est-il quasiment aussi efficace qu'un protocole à grande fenêtre glissante ? Expliquez.

réponse réponse

**2.1.49** Dans les protocoles à fenêtre glissante de type « selective repeat », quelles sont les relations qui sont satisfaites à tout instant entre les quatre valeurs suivantes : les bords inférieurs et supérieurs des fenêtres de l'émetteur et du récepteur ? Justifiez.

réponse réponse

**2.1.50**

- (a) Dans TCP, comment fixe-t-on les numéros des premiers segments transmis dans chaque sens d'une connexion ?
- (b) Si l'on attribuait systématiquement la valeur 0 (par exemple) à ces premiers numéros, quel serait le risque et comment pourrait-on l'éviter en conservant toutefois cette numérotation ? Quel serait l'inconvénient ?

réponse réponse

**2.1.51**

- (a) Dans quelle(s) situation(s) le protocole de routage à vecteur de distances (DV) risque-t-il de ne pas converger ?
- (b) Décrivez un comportement pathologique possible à l'aide d'un exemple simple.
- (c) Comment peut-on atténuer ce phénomène ?

réponse réponse

**2.1.52**

- (a) Décrivez les principes du protocole de routage inter-domaine BGP.
- (b) Expliquez comment BGP permet à un réseau périphérique (« stub ») multi-connecté (« multihomed ») de ne pas accepter du trafic de transit.

réponse réponse

**2.1.53**

- (a) Déterminez analytiquement l'expression de l'efficacité du protocole ALOHA discrétisé (slot-ted ALOHA) en fonction de la charge du réseau pour un grand nombre de stations actives. On supposera que chaque station émet dans un slot avec une probabilité  $p$ .

- (b) Représentez l'efficacité graphiquement (avec définition des axes), et expliquez la forme de la courbe.
- (c) La suppression des slots (Cf. ALOHA pur) améliore-t-elle les performances ? Pourquoi ?

réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse réponse  
réponse

## 2.2 Pratique