

## Chapitre 1

# Notions de base

---

## Exercices

No	Exercice	Pts	Diff.
1	Qu'est-ce qu'un réseau LAN (ou réseau local) ? un réseau MAN ? un réseau WAN ?	3	-
2	Pourquoi les réseaux WAN ont-ils pour la plupart une topologie en anneau ou maillée ?	1	--
3	Quels avantages un réseau à commutation de circuits présente-t-il par rapport à un réseau à commutation par paquets ?	2	-
4	Supposez que vous soyez en train de développer une norme pour un nouveau type de réseau. Vous devez choisir entre l'emploi de circuits virtuels ou le recours à un acheminement de datagrammes. Quels sont les arguments pour et contre l'utilisation de circuits virtuels.	4	0
5	Imaginez le transfert d'une série de paquets entre un serveur émetteur et un hôte récepteur le long d'un chemin donné. Citez les différents types de retards composant le temps de transfert d'un paquet. Lesquels sont constants et lesquels sont variables ?	2	--
6	Supposez qu'un lien point-à-point à 100 Mb/s soit mis en place entre la terre et une colonie lunaire. La distance de la Lune à la terre est d'environ 390'000 km et les données voyagent sur le lien à la vitesse de la lumière, 300'000 km/s. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calculez le RTT minimum pour le lien.</li> <li>• En utilisant le RTT comme délai, calculez le produit délai*largeur de bande du lien</li> <li>• Quelle est la signification du produit délai*largeur de bande calculé en (b)</li> </ul>	3	

## Chapitre 1

7	<p>Pour chacune des applications suivantes, expliquez si elles sont susceptibles d'être sensible au délai ou à la largeur de bande.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Voix sur IP (voice over IP)</li> <li>• Netmeeting (vidéo)</li> <li>• Chargement de fichiers MP3 et DivX</li> </ul>	3	0
8	<p>Quelle est la « largeur » (en secondes) d'un bit sur un lien à 1 Gb/s ?</p>	1	--
9	<p>Vous cherchez à envoyer un long fichier de <math>F</math> bits d'un hôte A à un hôte B. Deux liaisons et un commutateur relie A et B. Supposez que les délais d'attente soient négligeables. L'hôte A segmente le fichier en segments de <math>S</math> bits et ajoute à chacun 40 bits d'en-tête, formant des paquets d'une longueur de <math>L = S + 40</math> bits. Chaque liaison se caractérise par un débit de <math>R</math> bits/s. Trouvez la valeur de <math>S</math> minimisant le délai encouru par le fichier complet sur son parcours entre A et B, tout en négligeant le délai de propagation.</p>	6	+
10	<p>Soit deux serveurs A et B, connectés l'un à l'autre au moyen d'une seule liaison à <math>R</math> bits/s. Supposez que les deux serveurs soient séparés par une distance de <math>m</math> mètre et supposez que la vitesse de propagation le long de la liaison est de <math>v</math> m/s. Le serveur A envoie un paquet de <math>L</math> bits à l'hôte B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exprimez le temps de propagation, <math>d_{prop}</math>, en fonction de <math>m</math> et <math>v</math>.</li> <li>• Déterminez le temps de transmission du paquet, <math>d_{trans}</math>, en fonction de <math>L</math> et <math>R</math>.</li> <li>• Supposez que le serveur A commence à transmettre le paquet au temps <math>t=0</math>. Où se trouve le dernier bit du paquet à l'instant <math>t=d_{trans}</math> ?</li> <li>• Soit <math>d_{prop}</math> supérieur à <math>d_{trans}</math>. A l'instant <math>t=d_{trans}</math>, où est le premier bit du paquet ?</li> <li>• Soit <math>d_{prop}</math> inférieur à <math>d_{trans}</math>. A l'instant <math>t=d_{trans}</math>, où est le premier bit du paquet ?</li> </ul>	5	0
11	<p>Imaginez que vous avez dressé Bernie, votre Saint-Bernard, pour qu'il puisse transporter une boîte de trois cartouches à la place d'un tonnelet de whisky. Chaque cartouche contient 700 Mo de données. Bernie peut vous rejoindre où que vous soyez à une vitesse de 18 km/h. Pour quelle distance Bernie possède-t-il un débit plus élevé qu'une ligne de transmission à 10 Mb/s ?</p>	3	0

12	<p>Considérez un réseau LAN d'une distance maximale de 2 km. A quelle débit de transmission est-ce que le délai de propagation (vitesse de la lumière = 210'000 km/s) va être égal au délai de transmission pour des paquets de 100 octets ? Qu'en est-il pour des paquets de 512 octets ?</p>	2	-
13	<p>Calculez le délai de transfert (depuis le premier bit envoyé jusqu'au dernier bit reçu) pour les cas suivants :</p> <p>Ethernet 10 Mb/s avec un seul commutateur de type « mémorisation et retransmission » (on attend que tout le paquet soit arrivé avant de le retransmettre sur la ligne) sur le chemin, et une longueur de paquet de 5000 bits. Faites l'hypothèse que chaque ligne introduit un délai de propagation de 10 microsec, et que le switch commence à retransmettre immédiatement après qu'il ait fini de recevoir le paquet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La même chose mais avec trois switches.</li> <li>• La même chose mais on suppose que le switch implante un autre mécanisme: Il est capable de commencer de transmettre le paquet après les 200 premiers bits qui ont déjà été reçus.</li> </ul>	4	0
14	<p>Un inconvénient des liaisons partagées est la perte de capacité lorsque plusieurs hôtes tentent d'accéder simultanément au canal. Prenons un exemple simple dans lequel le temps est divisé en intervalles discrets et où chacun des <math>n</math> hôtes tente avec une probabilité <math>p</math> d'accéder au canal durant chaque intervalle. Quelle est la proportion d'intervalles gaspillés en raison des collisions ?</p>	4	0
15	<p>Deux machines A et B sont connectées à un commutateur S via des lignes à 10 Mb/s comme montré ci-dessous :</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph LR     A((A)) --- S((S))     S --- B((B))             </pre> </div> <p>Le délai de propagation sur chaque ligne est de 20 microsec. S mémorise et traite le paquet avant de le renvoyer sur la ligne. Il va le retransmettre sur la ligne 35 microsec. après avoir fini de le recevoir. Calculez le temps total requis pour transmettre 10000 bits de A à B quand</p> <p>Un seul paquet est envoyé</p> <p>Deux paquets de 5000 bits sont envoyés</p>	2	0
16	<p>Qu'est-ce qu'une connexion ?</p>	1	-

## Chapitre 1

17	Pour quel type d'applications la commutation par datagrammes est préférable à l'établissement d'une connexion ?	2	-
18	<p>Calculez le temps total pour transférer un fichier de 1000 KB (K octets) dans les cas suivants, en faisant l'hypothèse que RTT = 100 ms, que la taille des paquets est 1 KB, et que 2 aller-retour (RTT) sont nécessaires pour l'établissement de la communication.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La largeur de bande est de 1.5 Mb/s, et les paquets sont envoyés de manière continue.</li> <li>• La largeur de bande est de 1.5 Mb/s, mais après chaque paquet on doit attendre 1 RTT avant d'envoyer le paquet suivant.</li> <li>• La largeur de bande est infinie, ce qui signifie que le temps de transmission est nul. On peut envoyer 20 paquets à la fois, par RTT.</li> <li>• La largeur de bande est infinie, et durant le premier RTT nous pouvons envoyer un paquet, durant le second RTT 2 paquets (<math>2^2-1</math>), durant le troisième RTT quatre paquets (<math>2^3-1</math>), et ainsi de suite. (Une justification sera donnée lorsque nous étudierons TCP).</li> </ul>	4	
19	<p>Calculez le produit (largeur de bande * délai) pour les lignes suivantes. Utilisez un délai dans le sens « aller » (et non l'aller-retour), mesuré depuis le premier bit envoyé jusqu'au premier bit reçu.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet 10 Mb/s avec un délai de 10 microsecondes</li> <li>• Ethernet 10 Mb/s avec un seul commutateur identique à celui vu dans l'exercice 6. La grandeur des paquets est de 5000 bits et le délai de propagation est de 10 microsec. par ligne.</li> <li>• Ligne T1 à 1.5 Mb/s avec un délai transcontinental de 50 ms.</li> <li>• Ligne T1 à 1.5 Mb/s à travers un satellite géostationnaire (hauteur : 35900 km de la terre). Le seul délai est le délai de propagation de la lumière.</li> </ul>	4	
20	Quelle durée faut-il pour transmettre x kB (ou kilooctets) sur un lien à y Mb/s ? Donnez votre réponse sous forme de rapport entre x et y.	1	
21	Supposez que vous fassiez le design d'un protocole à fenêtre	2	

	<p>glissante sur une ligne point-à-point de 10 Mb/s avec la Californie qui a une latence de 0.15 sec. (aller simple). Supposez que chaque trame transporte des trames de 0.5 KB (500 octets). Combien de paquets peuvent être envoyés avant de recevoir le premier bit en retour ? Sur combien de bits pouvez-vous coder cette information ? Calculez le produit délai * largeur de bande. Quelle est sa signification ?</p>		
22	<p>Supposons qu'un ordinateur veuille envoyer un fichier de 1 MB à un autre ordinateur. Le fichier prend 1 seconde de temps CPU pour compresser à 50% ou 2 secondes pour compresser à 60% du fichier (moins efficace que la compression précédente !). Calculer la largeur de bande pour laquelle chaque option de compression prend le même temps total que le temps de transmission. Temps de compression + temps de transmission = temps total. Expliquer pourquoi la latence n'affecte pas votre réponse.</p>	2	
23	<p>(kr-1-2) Soit une application transmettant des données à un débit constant (où l'expéditeur génère par exemple une unité de données à N-bits toutes les k secondes). Considérez le fait que lorsqu'une telle application est lancée, celle-ci tend à être exploitée pendant un temps relativement prolongé. Répondez maintenant aux questions suivantes, en argumentant brièvement vos réponses:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Quel type de réseau, entre un réseau à commutation par paquets ou à commutation de circuits, s'avère être le plus approprié pour cette application? Pourquoi?</li> <li>Imaginez un réseau à commutation par paquets dont le seul trafic proviendrait d'applications du type de celle décrite ci-dessus. Imaginez de plus que la somme des débits de données de ces applications soit inférieure au débit des différentes liaisons. Doit-on avoir recours à une forme de contrôle d'encombrement ? Pourquoi?</li> </ol>		
24	<p>(kr-1-5) Considérez l'envoi d'un fichier d'une taille de <math>F = M \cdot L</math> bits le long d'un chemin composé d'un nombre de liaisons Q. Chaque liaison transmet à un débit de R bit/s. Le réseau est peu occupé, de sorte qu'il n'y a aucun délai d'attente. Avec la</p>		

	<p>commutation par paquets, les <math>M \cdot L</math> bits sont fragmentés en <math>M</math> paquets, chacun constitué de <math>L</math> bits. Les temps de propagation sont négligeables.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Supposez que nous soyons en présence d'un réseau à commutation par paquets doté de circuits virtuels. Appelons <math>t_s</math> le temps de mise en place d'un circuit virtuel et supposons que les couches émettrices ajoutent à chaque paquet un total de <math>h</math> bits en en-tête. Combien de temps faut-il pour envoyer le fichier de sa source à sa destination?</li> <li>Supposez que le réseau soit un réseau à datagramme à commutation par paquets reposant sur un service sans connexion. Supposez maintenant que chaque paquet comporte un en-tête d'une longueur de <math>2h</math> bits. Combien de temps faut-il pour envoyer le fichier?</li> <li>Répétez (b), mais en prenant cette fois le cas de la commutation de messages (c'est-à-dire que <math>2h</math> bits sont ajoutés au message, qui ne fait l'objet d'aucune segmentation).</li> <li>Enfin, supposez que le réseau soit un réseau à commutation de circuits. Imaginez également que le débit du circuit entre la source et la destination soit de <math>R</math> bit/s. Dans l'hypothèse d'un temps de mise en place <math>t_s</math> et d'un en-tête <math>h</math> bits rattaché au fichier tout entier, combien de temps faut-il pour l'envoyer?</li> </ol>		
25	<p>(kr-1-9)</p> <p>Dans ce problème, nous considérons l'envoi de données vocales d'un serveur A à un serveur B au travers d'un réseau à commutation par paquets (par exemple, la téléphonie par internet). Le serveur A convertit les données analogiques en un flux numérique à 64 kbit/s, puis regroupe les bits en paquets de 48 octets. Une seule liaison assure la connexion entre A et B, d'un débit de 1 Mbit/s et son temps de propagation est de 2 ms. Aussitôt que le serveur A saisit un paquet, il le transmet à B. Dès que B reçoit un paquet entier, il reconvertit ses bits au format analogique. Combien de temps s'écoule entre la création d'un bit (à partir du signal analogique d'origine) et son décodage (en tant que partie du</p>		

	signal analogique reconstitué au niveau de l'hôte B) ?		
26	<p>(kr-1-10)</p> <p>Supposez que différents utilisateurs se partagent une liaison à 1 Mbit/s, que chaque utilisateur utilise 100 kbit/s au moment de transmettre des données, mais qu'il ne soit actif que 10 % du temps.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Combien d'utilisateurs peut-il y avoir en commutation de circuits?</li> <li>Pour la suite de cet exercice, le mode de commutation utilisé est la commutation par paquets. Calculez la probabilité qu'un utilisateur soit en train de transmettre à l'instant <math>t</math>.</li> <li>Supposez qu'il y ait 40 utilisateurs. Calculez la probabilité pour qu'à un instant donné, un nombre de <math>n</math> utilisateurs soient actifs simultanément. (Conseil: utilisez la distribution binomiale.)</li> <li>Calculez la probabilité pour qu'il y ait plus de 11 utilisateurs actifs en même temps.</li> </ol>		
27	<p>(kr-1-12)</p> <p>Considérez le temps d'attente au niveau du tampon d'un routeur (précédant une liaison sortante). Supposez que tous les paquets contiennent <math>L</math> bits, que le débit soit de <math>R</math> bit/s et que <math>N</math> paquets arrivent simultanément au tampon toutes les <math>L/R</math> secondes. Calculez le temps d'attente moyen d'un paquet (Conseil: le temps d'attente affectant le premier paquet est nul; le temps affectant le deuxième paquet est de <math>L/R</math> ; celui affectant le troisième paquet de <math>2L/R</math>. Le même paquet a déjà été transmis lorsque le deuxième groupe de paquets arrive.)</p>		
28	<p>(kr-1-13)</p> <p>Considérez le temps d'attente au niveau du tampon d'un routeur. Soit <math>I</math> l'intensité du trafic, avec <math>I = \lambda L/R</math>. Supposez que le temps d'attente se présente sous la forme <math>IL/R (1 - I)</math> pour <math>I &lt; 1</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Trouvez une formule exprimant le temps total, soit la somme du temps d'attente et du temps de transmission.</li> <li>Tracez la courbe du temps total en fonction de <math>L/R</math>.</li> </ol>		
29	<p>(kr-1-15)</p>		

	<p>Effectuez des tests de bout-en-bout à l'aide du logiciel <i>Traceroute</i>, pour deux serveurs situés sur le même continent et pour trois heures différentes de la journée.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calculez la déviation standard moyenne des temps d'aller-retour pour chacune des trois heures choisies.</li> <li>Calculez le nombre de routeurs situés sur le chemin à chacune des trois heures. Les paquets ont-ils emprunté des chemins différents aux différentes heures testées?</li> <li>Essayez d'identifier le nombre de réseaux d'ISP traversés par les paquets de Traceroute entre la source et la destination. Les routeurs dotés de noms identiques et/ou de la même adresse IP devraient être considérés comme appartenant au même fournisseur de services. Dans vos tests, les délais les plus longs se produisent-ils au niveau des interfaces assurant les échanges entre ISP adjacents?</li> <li>Répétez le raisonnement ci-dessus pour une source et une destination situés sur deux continents différents, puis comparez les résultats intra- et intercontinentaux.</li> </ol>		
30	<p>(kr-1-16)</p> <p>Soit deux serveurs, A et B, séparés par une distance de 10 000 km, connectés par une liaison directe d'un débit <math>R = 1 \text{ Mbit/s}</math> et présentant une vitesse de propagation de <math>2,5 \cdot 10^8 \text{ m/s}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calculez le produit du temps de propagation par le débit, <math>R \cdot t_{\text{prop}}</math>.</li> <li>Imaginez l'envoi d'un fichier de 400000 bits du serveur A au serveur B. Supposez que celui-ci soit envoyé en continu comme un seul et volumineux message. Quel est le nombre de bits maximal pouvant se trouver sur la liaison à un instant donné?</li> <li>Proposez une interprétation du produit du temps de propagation par le débit.</li> <li>Quelle est la largeur (en mètres) d'un bit sur la liaison? Est-il plus long qu'un terrain de football ?</li> <li>Dérivez une expression générale permettant de déterminer la largeur d'un bit en fonction de la vitesse de propagation <math>s</math>, le débit <math>R</math> et la longueur de la liaison <math>m</math>.</li> </ol>		
31	(kr-1-17)		

	<p>En vous référant au problème précédent, supposez qu'il soit possible de modifier la variable R. Quelle doit être sa valeur pour que la largeur d'un paquet soit équivalente à la longueur de la liaison?</p>		
32	<p>(kr-1-18)</p> <p>Reprenez une nouvelle fois le problème N°(kr-1-16), mais cette fois en présence d'une liaison de <math>R = 1 \text{ Gbit/s}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Calculez le produit de temps de propagation par le débit, <math>R \cdot t_{\text{prop}}</math></li> <li>Considérez l'envoi d'un fichier de 400 000 bits du serveur A au serveur B. Supposez que celui-ci soit envoyé en continu en tant qu'un seul et volumineux message. Quel est le nombre de bits maximal pouvant se trouver sur la liaison à un instant donné?</li> <li>Quelle est la largeur (en mètres) d'un bit sur la liaison?</li> </ol>		
33	<p>(kr-1-19)</p> <p>Reportez-vous de nouveau au problème N°(kr-1-16).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Combien de temps faut-il pour envoyer un fichier, en admettant qu'il soit envoyé en continu?</li> <li>Supposez maintenant que le fichier soit scindé en la paquets de 40000 bits chacun. Supposez que chaque paquet fasse l'objet d'un accusé de réception de la part du destinataire et que le temps de transmission d'un tel accusé soit négligeable. Enfin, imaginez que l'expéditeur ne puisse pas envoyer de paquet avant confirmation de la réception du précédent. Combien de temps faut-il pour envoyer ce fichier?</li> <li>Comparez les résultats de (a) et de (b).</li> </ol>		
34	<p>(kr-1-20)</p> <p>Imaginez une liaison radioélectrique de 10 Mbit/s entre un satellite géostationnaire et sa station terrestre. À chaque minute, le satellite prend une photo numérique et l'envoie à terre. En admettant que la vitesse de propagation soit de <math>2,4 \cdot 10^8 \text{ m/s}</math> :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Quel est le temps de propagation de la liaison?</li> <li>Quelle est la valeur du produit du temps de propagation</li> </ol>		

## Chapitre 1

---

	par le débit, $R \cdot t_{\text{prop}}$ ?		
	c. Soit $x$ la taille du fichier de la photo. Quelle est la valeur minimale de $x$ permettant une transmission en continu sur la liaison radioélectrique?		