

Sujet de TD n°1 : Débits et rendements de transmission

1 Transmission téléphonique

En règle générale, la voix est numérisée dans un réseau téléphonique filaire via un échantillonnage sur 8 bit, à une fréquence de 8000 Hz (i.e., 8000 échantillons sont prélevés par seconde, chaque échantillon s'exprimant sur 8 bit et portant donc une valeur numérique comprise entre 0 et 255).

a) Réseau téléphonique « classique »

Calculez le débit de transmission nécessaire pour supporter (dans chaque sens) un circuit téléphonique établi entre deux postes d'abonnés.

b) Réseau téléphonique « haute fidélité »

Selon le même principe, quel serait le débit de transmission nécessaire pour supporter un circuit téléphonique offrant une qualité sonore de type CD Audio (i.e. échantillonnage à 44,1 kHz sur 16 bit, en stéréo) ?

2 Débits USB

Le standard de transmission USB (*Universal Serial Bus*) a évolué au fil du temps, les versions successives offrant les débits de transfert suivants :

- USB 1.0 (1996) : 12 Mbit/s
- USB 2.0 (2001) : 480 Mbit/s
- USB 3.0 (2011) : 5 Gbit/s
- USB 3.1 (2014) : 10 Gbit/s

Ces débits sont des débits maximum bruts. Dans la pratique les débits observés dépendent notamment du nombre d'équipements partageant un bus USB, des performances respectives de chacun de ces équipements (e.g., vitesse de lecture/écriture sur un disque dur ou en mémoire Flash), et du surcoût (*overhead*) dû au codage/décodage des données transmises.

a) Transfert du contenu d'un DVD via un bus USB

Calculer, pour chacune des versions du standard USB listées ci-dessus, la durée minimale de transfert du contenu d'un DVD simple face double couche, stockant 8.5 Go de données, en supposant un rendement de transmission de 80%¹.

b) Prise en compte des débits d'accès aux périphériques de stockage

On suppose que le transfert s'effectue, via l'unité centrale d'un PC, entre un lecteur de DVD et une carte SD. La lecture du DVD s'effectue à « vitesse 10x », ce qui signifie « 10 fois le débit de lecture de base d'un DVD² ». La carte SD est une carte « SDXC de classe 10 », ce qui signifie qu'elle supporte l'écriture à un débit d'au moins 10 Mo/s. On suppose que la traversée de l'UC du PC ne réduit pas le débit de transfert.

1. Le rendement d'une transmission est le rapport entre le débit utile observé sur le support de transmission considéré et le débit brut (ou débit maximum) caractéristique de ce même support. On considère souvent, pour simplifier, que le rendement est constant pour une technologie donnée. Il l'est très rarement en réalité.

2. Débit de lecture/écriture d'un DVD : 1x = 11 Mbit/s.

Dans ces conditions, et pour chacune des versions du standard USB listées plus haut, estimez la durée minimale du transfert d'un DVD de 8.5 Go vers la SD-CARD. (En supposant toujours un rendement de transmission de 80% sur le lien USB.)

3 *Columbia livia domestica*

Un pigeon voyageur (espèce *Columbia livia domestica*) est capable de voler à une vitesse moyenne de l'ordre de 100 km/h sur des distances pouvant atteindre 1000 km. Sur des distances courtes (moins de 100 km) la vitesse moyenne de vol peut atteindre 160 km/h. Un pigeon est par ailleurs capable de transporter des charges pouvant atteindre 75 g, soit environ 15 % de son propre poids.

On considère l'utilisation de pigeons voyageurs pour le transport de données numériques. Pour ce faire on fait porter par un pigeon un boîtier (de poids négligeable) dans lequel on peut insérer jusqu'à 10 cartes micro-SDXC UHS-1, chaque carte ayant un poids de 1 gramme et une capacité de 1 To.

Un pigeon transportant 10 cartes pleines effectue un trajet de 120 km en 75 minutes. Calculer

- la vitesse de propagation du signal (ici équivalente à la vitesse moyenne de vol du pigeon sur ce trajet);
- le débit de transmission équivalent (i.e. le débit utile que devrait offrir un réseau de transmission quelconque pour atteindre le même résultat).

4 Communications spatiales

a) Espace lointain

Le *Deep Space Network (DSN)* est un ensemble de trois stations terrestres gérées par la NASA³. Ces stations sont situées en Californie (station de Godstone), en Espagne (Madrid), et en Australie (Canberra). Chaque station dispose de plusieurs antennes paraboliques de forts diamètres (plusieurs dizaines de mètres), chaque antenne pouvant être pointée vers un point précis de l'espace, et maintenir ce pointage en compensant la rotation de la Terre⁴.

Les stations du réseau DSN permettent à la NASA de maintenir le contact avec les sondes déployées dans le cadre des missions scientifiques lointaines, telles que les télescopes spatiaux (e.g., Spitzer, Gaia), les missions martiennes (e.g. orbiteur MAVEN, rover Curiosity), etc.

Les débits de transmission obtenus lors d'un échange Terre-sonde dépendent de multiples paramètres, tels que la distance les séparant, la gamme de fréquences, le type de modulation, et le type de codage utilisés. Ces débits peuvent atteindre quelques Mbit/s pour les sondes les plus proches, mais ils peuvent aussi descendre à quelques kbit/s, voire quelques dizaines de bit/s pour les sondes les plus lointaines.

Ci-dessous sont listés quelques exemples de sondes avec lesquelles le réseau DSN permet de maintenir le contact. Pour chaque sonde on a précisé sa distance à la Terre (relevée en août 2019), ainsi qu'une indication du débit de transmission observé lors des transferts de données réalisés dans le sens descendant (i.e., sonde -> Terre).

— GAIA

Mission : satellite d'astrométrie lancée par l'ESA, en orbite autour du point de Lagrange L2 (dans « l'ombre » de la Terre)

Distance Terre-sonde : 1.41 Mkm

Débit : 10 Mbit/s

— OSIRIS-REX

Mission : observation de l'astéroïde géo-croiseur Benou

Distance Terre-sonde : 230.5 Mkm

Débit : 900 kbit/s

— MAVEN

Mission : orbiteur dédié à l'observation de l'atmosphère de Mars

3. L'Agence Spatiale Européenne dispose également de son propre réseau de neuf stations terrestres, baptisé ESTRACK.

4. *E pur, si muove!*

Distance Terre-sonde : 400.23 Mkm

Débit : 32 kbit/s⁵

— New Horizons

Mission : survol et observation de Pluton, puis traversée de la ceinture de Kuiper avec observation de l'objet Ultima Thulé

Distance Terre-sonde : 6.66 Gkm

Débit : 1.58 kbit/s

— Voyager 2

Mission : survol et observation de Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, puis mission interstellaire

Distance Terre-sonde : 18.1 Gkm

Débit : 160 bit/s

Pour chacune de ces sondes, calculer le temps de propagation du signal radio, ainsi que la durée de transfert d'un document de 1 Mo (une image par exemple).

b) Espace proche

Le réseau DSN évoqué plus haut est dédié à la communication avec des objets situés dans l'espace lointain. Pour les objets situés dans l'espace proche (typiquement, des objets en orbite terrestre), les communications s'effectuent via d'autres moyens, comme par exemple la constellation de satellites TDRS (*Tracking and Data Relay Satellite*), constituée à ce jour de 7 satellites situés en orbite géo-synchrone (36.000 km d'altitude).

Le « parc informatique » de la station spatiale internationale (ISS) est constitué d'une centaine de laptops fournis par IBM et HP. Ces laptops sont interconnectés via le réseau Wi-Fi déployé dans la station ISS, et les liaisons avec la Terre s'effectuent via l'un des satellites TDRS. Ces liaisons s'effectuent à des débits similaires à ceux que peut offrir une ligne ADSL moyenne, soit environ 10 Mbit/s en *download* et 3 Mbit/s en *upload*.

Sachant que la station ISS évolue en orbite basse (à 410 km d'altitude), calculez la durée du transfert d'un document de 1 Mo (dans le sens station ISS => Terre, puis dans le sens Terre => station ISS), en supposant un rendement de 80 %, et 1) une transmission directe vers une station au sol, 2) une transmission relayée par un satellite TDRS. Calculez également la latence de la transmission dans chacun des cas considérés.

5 Téléchargement de fichier via BitTorrent

Soit un fichier D de taille de 1 Go partagé sur un réseau de type pair-à-pair (P2P). Le poste sur lequel on souhaite récupérer ce fichier dispose d'un accès à Internet via une ligne ADSL. Dans le cadre du réseau P2P ce poste est connecté à 3 pairs, qui hébergent chacun une partie du fichier global :

— Pair 1 : de 0 Mo à 200 Mo.

— Pair 2 : de 200 Mo à 300 Mo.

— Pair 3 : de 300 Mo à 1 Go.

Lorsqu'on réalise une mesure des débits de transmission (utiles) moyens entre chacun des pairs (successivement) et le poste client, on obtient les résultats suivants :

— Pair 1 : 4 Mbit/s

— Pair 2 : 1 Mbit/s

— Pair 3 : 8 Mbit/s

a) On suppose dans un premier temps que la ligne ADSL peut supporter un débit descendant brut de l'ordre de 18 Mbit/s, avec un rendement de 80 %. En combien de temps le client recevra-t-il le fichier⁵ ?

b) On suppose à présent que la ligne ADSL est moins performante et ne supporte plus qu'un débit descendant brut de l'ordre de 5 Mbit/s (avec un rendement de 80%). Revoyez les calculs précédents en tenant compte de cette nouvelle contrainte.

5. On supposera que le trafic sur la ligne ADSL est toujours réparti de manière équitable entre toutes les sources possibles.