

TD 3

LIAISON DE DONNEES

1. POLITIQUES D'ACCES STATIQUES

Les méthodes d'accès statique consistent à partager de façon statique (donc sans évolution dans le temps) les ressources de transmission (abusivement appelées « bande passante ») entre plusieurs communicateurs. Il existe deux façons simples d'effectuer ce partage :

- **AMRF** (*Accès Multiple à Répartition en Fréquence*) ou **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*), pour lequel on découpe la bande passante du support physique en sous-bandes dont chacune est affectée à un seul communicateur ;
- **AMRT** (*Accès Multiple à Répartition dans le Temps*) ou **TDMA** (*Time Division Multiple Access*), pour lequel le temps est découpé en tranches (appelés Intervalles de Temps ou IT), que l'on affecte successivement aux différents communicateurs.

Exercice 1.1 | Norme GSM 900 MHz

Dans sa version à 900 MHz, la norme GSM occupe la bande de fréquences comprise entre 890,2 et 915 MHz pour la voie montante, et celle comprise entre 935,2 et 960 MHz pour la voie descendante. Chaque canal possède une largeur de bande de 200 kHz.

1. Donner le nombre total n de canaux full-duplex dont cette technologie peut disposer.

Ces canaux sont numérotés de 1 à n pour la voie montante et pour la voie descendante, et sont répartis entre les opérateurs. On considère alors un opérateur qui se voit attribuer 35 canaux dont les numéros vont de 31 à 60 et de 91 à 95.

2. Indiquer les plages de fréquences mises à disposition pour cet opérateur, dans le sens montant et dans le sens descendant.

Les différents canaux d'un opérateur sont alors répartis entre les cellules GSM qu'il gère. On définit un *cluster* comme étant un ensemble de cellules dans lequel chaque cellule utilise des canaux différents. Les canaux d'une cellule d'un cluster peuvent alors être réutilisés par d'autres cellules dès l'instant que ces cellules appartiennent à d'autres clusters. L'opérateur fixe ici la taille de son cluster à 7 cellules.

Pour chaque canal de communication, un multiplexage temporel est réalisé permettant de diviser le canal en 8 intervalles de temps, chacun pouvant être associé à un utilisateur actif.

3. Déterminer le nombre maximum d'utilisateurs actifs par cellule et par cluster, si l'on suppose une répartition équilibrée des canaux entre les cellules.

Exercice 1.2 | Politiques d'accès statiques et réseaux locaux

1. Sous quelles conditions de partage les techniques d'accès statiques sont-elles simples et efficaces ?
2. Pourquoi semblent-elles peu adaptées aux réseaux locaux (LAN) ?

2. POLITIQUES D'ACCÈS DYNAMIQUE A ALLOCATION DETERMINISTE

Les méthodes d'accès dynamiques permettent de n'allouer des ressources de transmission qu'aux utilisateurs qui en ont réellement besoin. La difficulté provient du manque de connaissance des besoins utilisateurs à tout instant. Cela nécessite donc la mise en place d'une « intelligence », celle-ci pouvant être centralisée ou répartie entre les utilisateurs.

Exercice 2.1 | Méthode d'accès *Roll-Call Polling*

La méthode d'accès *roll-call polling* est une technique d'allocation d'une ressource unique (le canal) entre plusieurs compétiteurs qui consiste à effectuer une consultation des divers compétiteurs en les invitant à émettre à tour de rôle. Une station *primaire* (encore appelée *site maître*) gère l'ensemble du système et interroge séquentiellement chaque station *secondaire* en lui envoyant une *trame de poll*. La station interrogée lui répond par une trame d'acquiescement négatif si elle n'a rien à émettre ou par une trame de données dans le cas contraire (que l'on supposera être à destination de la station primaire).

On considère deux configurations multi-points comportant chacune une station primaire et N stations secondaires. Dans le cas de la Figure 1a, les stations sont reliées à un support physique de type câble coaxial et la distance séparant deux stations adjacentes est notée d . Dans le cas de la Figure 1b, la station primaire communique avec chaque station secondaire en utilisant une liaison hertzienne d'une portée d .

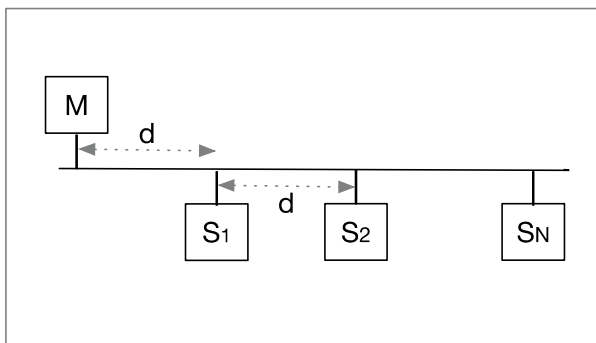


Figure 1a

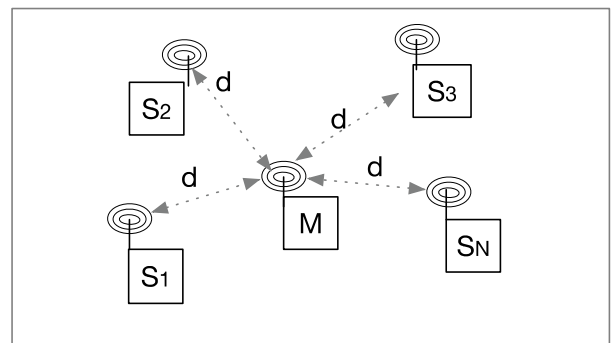


Figure 1b

Soit :

- t_p le temps de propagation du signal pour parcourir la distance d ;
- t_t le temps de transmission d'une trame de données que l'on considérera constant ;
- $a = \frac{t_p}{t_t}$.

1. En négligeant les temps de transmission des trames de *poll* et d'acquiescement négatifs ainsi que les différents temps de traitement, donner une expression de l'utilisation U de la liaison, en fonction de a et de N , pour chacun des cas suivants :
 - a) roll-call polling de la Figure 1a, et les stations secondaires sont toujours prêtes à émettre ;
 - b) roll-call polling de la Figure 1a, et seule une station secondaire est prête à émettre ;
 - c) roll-call polling de la Figure 1b, et les stations secondaires sont toujours prêtes à émettre ;
 - d) roll-call polling de la Figure 1b, et seule une station secondaire est prête à émettre.

2. La méthode d'accès roll-call polling est-elle plus efficace dans le cas d'un réseau fortement chargé ou dans le cas d'un réseau faiblement chargé ?

Exercice 2.2 | Bluetooth

La technologie de transmission sans-fil Bluetooth utilise le roll-call polling comme méthode d'accès. Le support de transmission étant partagé, la station maître associe à chaque station de sa cellule (y compris elle-même) un identifiant différent codé dans les trames par un champ de 3 bits.

1. Déterminer N_{max} , le nombre maximum de stations esclaves actives pouvant être rattachées à une station maître.
2. On suppose que la station maître gère N stations esclaves, dont M sont actives (elles transmettent des données à chaque cycle). Déterminer l'efficacité de cette méthode d'accès (le temps de transmission des trames de poll et d'acquiescement négatif n'étant plus négligeable).

A.N. : La longueur des trames de données est de 2744 bits, celle des trames de poll ou d'acquiescement négatif est de 100 bits, le temps de propagation est de 10 μ s, la capacité du canal est de 723 kbit/s, $N = 6$ et $M = 2$.

3. POLITIQUES D'ACCES DYNAMIQUE A ALLOCATION ALEATOIRE

Introduction : Méthode d'accès ALOHA pur

Le principe du protocole **ALOHA pur** est simple : dès qu'une station a besoin d'envoyer une information, elle l'émet, sans aucune précaution particulière. Cependant, si deux ordinateurs émettent une trame en même temps, les signaux se superposent : il y a **collision**. Le signal émis est incompréhensible, il faut alors le **réémettre**. Les collisions sont détectées par les stations émettrices en examinant le niveau électrique ou la largeur des impulsions des signaux reçus (lors de l'écoute) et en les comparant à ceux des signaux transmis : si le signal reçu est différent du signal transmis, la station émettrice en déduit que les signaux ont été perturbés par une collision. Ce protocole est considéré comme l'ancêtre du protocole d'accès de l'Ethernet. Il manque d'efficacité : Il suffit que le dernier bit d'une trame se superpose avec le premier bit d'une autre trame pour qu'il y ait collision et donc retransmission des deux trames. En plus, il n'y a pas d'écoute préalable afin d'éviter de transmettre si une autre transmission est en cours, et il n'y a pas d'arrêt de la transmission lorsqu'une collision se produit.

Exercice 3.1 | Méthode d'accès CSMA/CD (Ethernet)

CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) est une méthode d'accès utilisée dans les réseaux locaux de type Ethernet (norme IEEE 802.3). Avec cette méthode d'accès, toute machine est autorisée à émettre sur le support à n'importe quel moment et sans notion de priorité entre les machines, à condition de respecter les deux règles suivantes :

- chaque machine « écoute » ce qui se passe sur le support et vérifie qu'il n'y a aucune communication sur la ligne avant d'émettre ;
 - lorsqu'une machine détecte une collision, elle cesse d'émettre ses données.
1. On considère deux machines accédant à un support selon la méthode CSMA/CD.
 - a) A l'aide d'un croquis, expliquer pourquoi une collision peut se produire avec la méthode d'accès CSMA/CD, malgré l'écoute préalable.

- b) Au bout de combien de temps et dans quelles conditions, une station émettrice peut-elle s'apercevoir que la trame qu'elle a émise n'est pas entrée en collision ?
2. Soit un réseau local en bus de longueur d km. La vitesse de propagation du signal sur le support est de C km/s. La capacité de transfert du support est de D bit/s.

A.N. : $D = 10$ Mbit/s, $d = 2.5$ km et $C = 100\,000$ km/s.

- a) Donner la longueur minimale d'une trame pour que le protocole CSMA/CD fonctionne, sachant que $M = 12$ bits sont au titre de la marge de sécurité pour la fenêtre de collision.
- b) A quel temps de transmission cette longueur minimum correspond-elle ?

Exercice 3.2 | Algorithme *Exponential Backoff* de CSMA/CD

Avec la méthode d'accès CSMA/CD, des collisions peuvent se produire. Lors d'une collision, les deux machines impliquées interrompent leur communication et attendent un délai aléatoire avant de réémettre. La valeur de ce délai est déterminé par l'algorithme du « retrait exponentiel » (*exponential backoff*) :

- après la première collision, une machine attend un temps aléatoire égal soit à 0 soit à 1 ($= 2^1 - 1$) *unité de temps* (appelé généralement *intervalle de temps élémentaire* ou *slot-time*) ;
- après la seconde collision, une machine attend un temps aléatoire compris entre 0 et 3 ($= 2^2 - 1$) unités de temps ;
- après i collisions, une machine attend un temps aléatoire compris entre 0 et $2^i - 1$ unités de temps ; Il existe généralement une limite sur le nombre maximum d'unités de temps ($1023 = 2^{10} - 1$ pour les réseaux Ethernet) ainsi que sur le nombre maximum de tentatives de retransmission après collision (16 dans les réseaux Ethernet).

Soit un réseau local en bus utilisant un protocole de type CSMA/CD et comportant 4 stations notées A, B, C et D. Le temps est découpé en intervalles de temps notés ST (*Slot-Time*) de durée égale à $51.2\ \mu\text{s}$.

On supposera que toutes les trames sont de longueur fixe et que la durée d'émission d'une trame quelconque est de $6\ ST$. A l'instant $t = 0$, la station A commence à transmettre une trame. A $t = 2\ ST$, les stations B et D décident chacune de transmettre une trame et à $t = 5\ ST$, la station C décide de transmettre une trame.

On négligera le délai inter-trame (*interframe gap*). On supposera donc qu'une trame peut être émise par une machine dès qu'elle détecte le canal libre. On supposera par ailleurs que les stations A, B, C et D sont proches les unes des autres, et on négligera donc le temps de propagation de l'information entre ces différentes stations.

1. Remplir le diagramme des temps ci-dessous, gradué en ST et décrivant le déroulement des différentes transmissions de trames, en adoptant la légende suivante :

- ☒ A Slot occupé par A
- ☒ X Slot occupé par une collision
- ☐ Slot inoccupé

et en supposant que les valeurs tirées par les machines B, C et D sont les suivantes :

	B	C	D
Après 1 collision	0	1	1
Après 2 collisions	2	1	1
Après 3 collisions	4	5	1

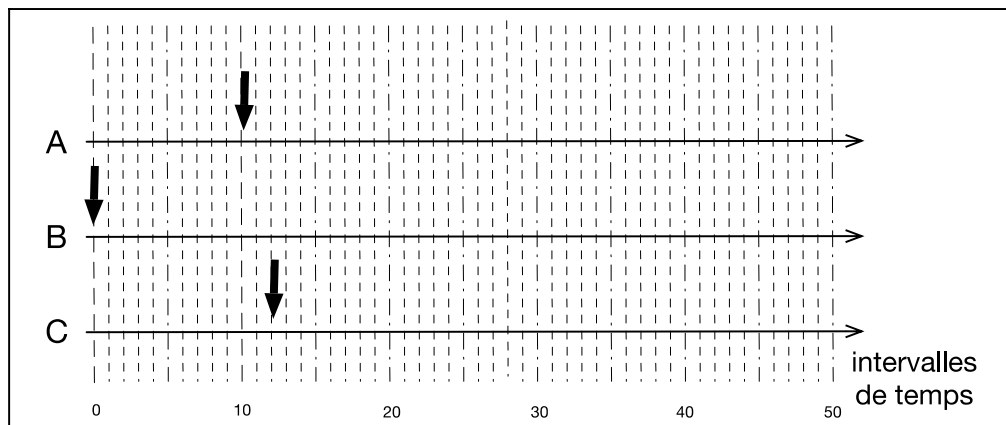
ST	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

- Calculez sur la période allant de $t = 0$ à la fin de la transmission de la dernière trame, le taux d'utilisation du canal pour la transmission effective des 4 trames.

Exercice 3.3 | Méthode d'accès CSMA/CA (Wi-Fi)

CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) est une méthode d'accès utilisée dans le cadre des normes IEEE802.11 (Wi-Fi). Son fonctionnement repose sur le principe suivant. Chaque station souhaitant émettre une trame de données doit vérifier que le canal est libre avant de transmettre. Deux cas sont possibles au moment où la station souhaite émettre une trame :

- Le canal est libre : la station attend alors pendant une durée DIFS (*Data Inter-Frame Spacing*) et si pendant cette période aucune transmission n'est détectée, la station peut transmettre sa trame.
 - Le canal n'est pas libre (il y a une transmission en cours) : la station écoute jusqu'à ce que le support devienne libre, puis attend à nouveau une durée DIFS. Si, pendant cette durée, aucune transmission n'est détectée, la station détermine aléatoirement une valeur de compteur (temporisateur de retrait), et écoute le support pendant la toute la durée de décrémentation de ce compteur. Dès qu'une transmission est détectée, le compteur est mis en pause. Il n'est réactivé que lorsque le canal devient libre pendant une durée DIFS. A l'expiration du compteur, la station transmet sa trame.
- On considère, dans un premier temps, que les 3 stations A, B et C sont toutes à portée radio les unes des autres. Compléter le schéma suivant en faisant apparaître les périodes de transmission des 3 stations.



Valeur initiale du compteur de retrait

A : 5 intervalles de temps
B : 4 intervalles de temps
C : 2 intervalles de temps

transmission

DIFS

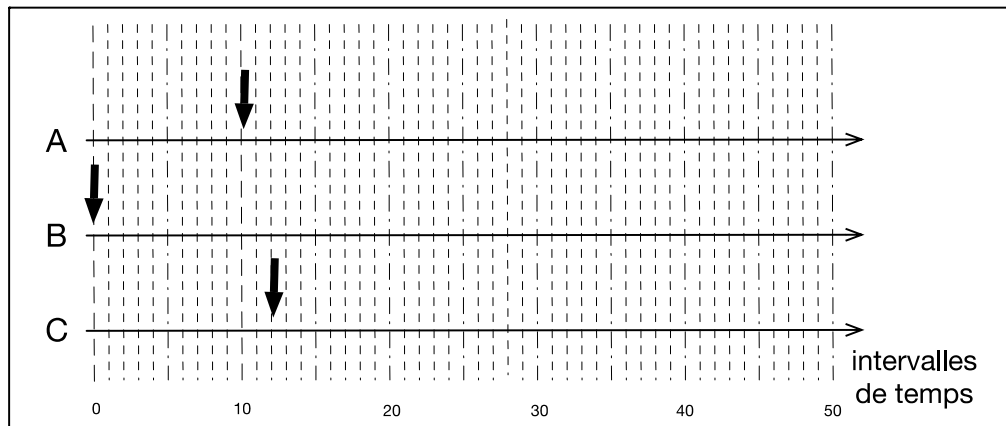


Durée d'une transmission :
10 intervalles de temps

Durée d'un DIFS :
3 intervalles de temps

Instant où la station est prête à transmettre une trame

- On considère, dans un second temps, que les stations A et C sont trop éloignées l'une de l'autre pour s'entendre mutuellement, mais chacune est en mesure de communiquer avec B. Modifier le schéma de transmission.



Valeur initiale du compteur de retrait

A : 5 intervalles de temps
B : 4 intervalles de temps
C : 2 intervalles de temps

transmission

DIFS



Durée d'une transmission :
10 intervalles de temps

Durée d'un DIFS :
3 Intervalles de temps

Instant où la station est prête à transmettre une trame

3. Dans chacun des deux cas précédents, les transmissions des 3 stations donnent-elle lieu à des collisions ?

4. CONTROLE D'ERREURS

Lors de la transmission des données, un signal peut subir diverses déformations et être altéré par du bruit. A la réception, lors du décodage, une **erreur** d'estimation peut alors se produire : l'état du signal représentant le bit « 1 » est interprété comme s'il s'agissait d'un bit « 0 » (ou l'inverse).

Les techniques employées, pour effectuer un contrôle d'erreurs, reposent sur l'utilisation de **codes détecteurs** ou de **codes correcteurs** d'erreurs qui enrichissent la suite de bits à envoyer, en lui ajoutant de la **redondance**. Le récepteur se sert de cette information ajoutée pour déterminer si une erreur s'est produite (code détecteur) et éventuellement pour la corriger (code correcteur).

Pour m bits de données, on ajoute r bits de redondance pour constituer un **mot de code** de n bits ($n = m + r$) que l'on transmet. Les r bits de contrôle se calculent directement (et de façon unique) à partir des m bits de données. Parmi tous les mots de code possibles, un mot sera dit **légal**, si les bits de contrôle correspondent aux bits de données. Dans le cas contraire, il sera dit **illégal** (ou **non autorisé**).

Exercice 4.1 | Codes détecteurs

1. Si l'on utilise un codage binaire, combien y a-t-il de mots de code possibles ? légaux ? illégaux ?
2. Qu'est-ce qui permet de détecter la présence d'une erreur en réception ?

Exercice 4.2 | Codes de détection d'erreurs basés sur la parité VRC / LRC

L'unité à protéger est le caractère ASCII. Ce dernier est codé sur 7 bits ($m = 7$). On ajoute alors un seul bit de contrôle ($r = 1$) de valeur telle que le nombre total de bits à 1 du code du caractère est pair. C'est ce qu'on appelle le **bit de parité** ou **VRC** (*Vertical Redundancy Checking*). On a alors un code de contrôle de parité paire. On définit de façon similaire un code de contrôle de parité impaire.

1. Combien d'erreurs simples par caractère ce code permet-il de détecter ?

Une autre façon de détecter les erreurs consiste à raisonner sur des blocs de $k \times n$ bits. Les $k-1$ premières lignes sont chacune constituées d'un mot de code de n bits, dans lequel le dernier bit est un bit de parité. La dernière ligne contient un mot de contrôle de n bits dans lequel chaque bit contrôle la parité des bits de même rang des mots de code de la séquence. C'est ce que l'on appelle la **parité bidimensionnelle** ou **LRC** (*Longitudinal Redundancy Checking*). A nouveau, la parité de ces codes correcteurs peut, par convention, être paire ou impaire.

2. Dans l'alphabet CCITT n°5, le mot « OSI », se code par les trois caractères de 7 bits suivants : O = « 1001111 », S = « 1010011 », I = « 1000011 ». Donner le mot de code sur 8 bits associé à chaque caractère VRC puis le LRC correspondant en utilisant des blocs de 4 lignes et une parité paire.
3. Un code LRC permet-il de détecter des erreurs simples, doubles ou triples, sur l'ensemble du bloc ?
4. Trouver un cas de figure où 4 bits en erreurs (sur l'ensemble du bloc) ne seront pas détectés ?
5. Montrer que la parité bidimensionnelle permet de corriger des erreurs simples (par bloc).

Exercice 4.3 | Codes de détection d'erreurs polynomiaux CRC

La technique quasi-universellement utilisée pour la détection d'erreurs est le **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*), qui un codage polynomial reposant sur deux concepts mathématiques : 1) l'arithmétique modulo-2 et 2) la division polynomiale.

A un code polynomial est associé un **polynôme générateur** $g(x)$.

Le **codage** est le calcul du mot de code :

- on constitue $M(x)$ le polynôme associé à la suite binaire à transmettre ;
- on multiplie $M(x)$ par x^r , où r est le degré du polynôme générateur $g(x)$;
- on calcule $R(x)$, le reste de la division du polynôme $M(x) \cdot x^r$ par $g(x)$, en utilisant l'arithmétique modulo 2 (dans laquelle $1 + 1 = 0$ et $0 - 1 = 1$) ;
- on transmet le mot binaire associé à $T(x) = M(x) \cdot x^r + R(x)$.

Le **décodage** est la vérification du mot de code reçu :

- on constitue $T'(x)$ le polynôme associé à la suite binaire reçue ;
- on calcule $R'(x)$, le reste de la division du polynôme $T'(x)$ par $g(x)$
 - si $R'(x) = 0$, il n'y a pas d'erreur, la suite binaire reçue est un mot de code valide ; on récupère alors l'information utile ;
 - si $R'(x) \neq 0$, il y a une erreur ; on demande alors la retransmission du message.

On désire transmettre les chiffres hexadécimaux « A9C5 », le premier chiffre transmis étant le chiffre « A ». La protection contre les erreurs se fait en utilisant un code polynomial de polynôme générateur $g(x) = x^8 + 1$.

1. Donner la forme polynomiale du message émis.
2. Donner la suite binaire complète transmise au récepteur (mot de code émis).
3. En supposant que, par suite d'une erreur de transmission, le 19^{ième} bit de la suite trouvée dans la première question est modifié, calculer la valeur du reste trouvée par le récepteur. L'erreur est-elle détectée ?