

TD 3

METHODES D'ACCES

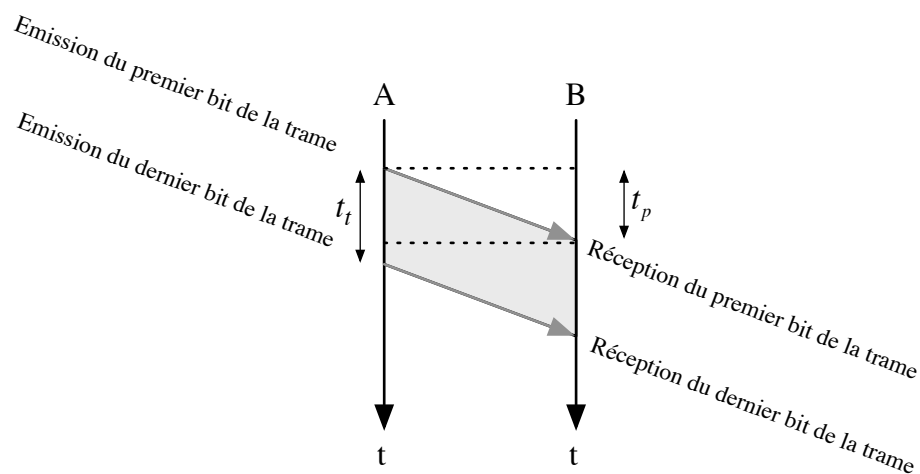
1. TRAMES

Dans un protocole de communication, les machines doivent s'échanger de l'information. Au niveau *liaison de données*, cette information est structurée en *trames*.

Exercice 1.1 | Transfert d'une trame

Le *transfert* ou l'*envoi* d'une trame est constitué de deux phénomènes qui se déroulent en parallèle et qu'il est important de ne pas confondre, la *transmission* (ou l'*émission*) et la *propagation* :

- Le temps de transmission (ou d'émission) t_t est le temps nécessaire pour émettre tous les bits de la trame sur la liaison. Il dépend du débit D de la liaison (en bits/seconde) et de la longueur l de la trame (en bits).
- Le temps de propagation t_p est le temps nécessaire pour qu'un bit de la trame se propage de A vers B. Il dépend de la distance x de la liaison entre A et B (en mètres) et de la vitesse de propagation de l'information c (en mètres/seconde).



- Donner l'expression de t_t et t_p en fonction de D , l , c et x . En déduire les temps d'émission et de propagation d'une trame de 1500 octets transmise sur une liaison à 10 Mbit/s, entre deux stations distantes de 200 m et se propageant sur le support à 200 000 km/s.
- A quoi correspond le temps de transfert d'une trame ?

2. 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 2.1 | Norme GSM 900 MHz

Dans sa version à 900 MHz, la norme GSM occupe les deux bandes de fréquences suivantes :

- la bande de fréquence comprise entre 890,2 et 915 MHz pour la voie montante ;
- la bande de fréquence comprise entre 935,2 et 960 MHz pour la voie descendante.

Ces deux bandes de fréquence sont découpées en sous-bandes appelées *canaux*. Les canaux résultant de ce découpage ont une largeur de bande de 200 kHz.

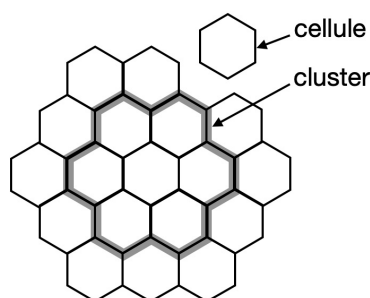
1. Calculer n_{vm} , le nombre de canaux résultant du découpage de la bande de fréquence dédiée à la voie montante. Calculez de la même façon n_{vd} , le nombre de canaux de la voie descendante.

Les canaux de chaque bande sont numérotés de 1 à n_{vm} pour la voie montante et de 1 à n_{vd} pour la voie descendante. Ces canaux sont répartis entre les différents opérateurs GSM. Chaque opérateur se voit attribuer un nombre identique de canaux pour la voie montante et pour la voie descendante.

Un opérateur que nous nommerons *OP* se voit attribuer 35 canaux pour chaque voie, soit un total de 70 canaux. Dans chaque voie, les canaux alloués à *OP* ont un numéro identique allant de 31 à 60 et de 91 à 95.

2. Quelles sont les plages de fréquences mises à disposition de *OP* pour la voie montante ? Même question pour la voie descendante.

Les opérateurs GSM installent des antennes qui couvrent des zones géographiques appelées *cellules*. Comme le montre la figure ci-dessous, les cellules sont regroupées dans des *clusters*, chaque cluster contenant 7 cellules adjacentes. Chaque cellule d'un cluster doit utiliser des canaux différents des autres, afin d'éviter les interférences d'une cellule sur une autre.



On suppose dans un premier temps que chaque utilisateur mobile *actif* se voit attribuer un canal de communication bidirectionnel composé d'un canal de la voie montante et d'un canal de la voie descendante.

3. Déterminer le nombre maximum d'utilisateurs mobiles actifs par cellule et par cluster de l'opérateur *OP*, s'il décide de répartir équitablement ses canaux (sur chaque voie) au sein de toutes les cellules d'un cluster.

Pour maximiser le nombre d'utilisateurs, on suppose à présent que les opérateurs réalisent un multiplexage temporel des canaux de communication bidirectionnels : chaque canal est divisé en 8 intervalles de temps, chacun pouvant être associé à un utilisateur actif.

4. Déterminer le nombre maximum d'utilisateurs mobiles actifs par cellule et par cluster.

Exercice 2.2 | 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) ?

3. POLITIQUES D'ACCES 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 3.1 | 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, pour simplifier, 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 .

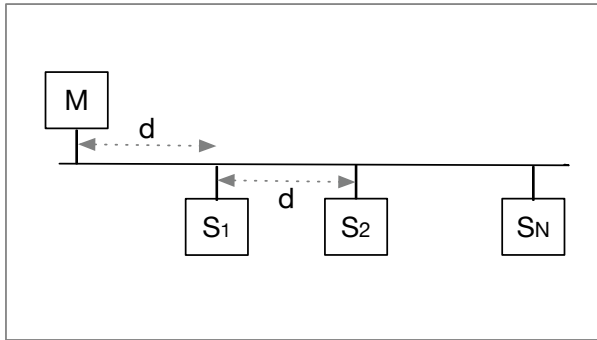


Figure 1a

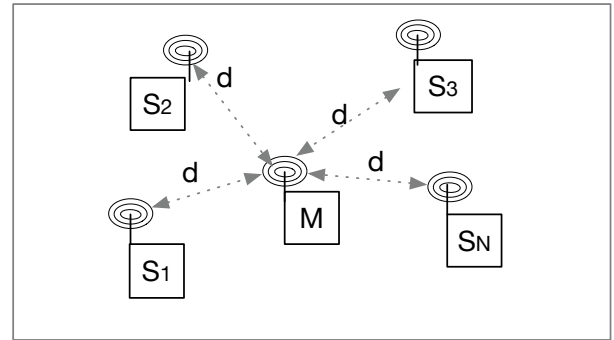


Figure 1b

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 l'expression de l'utilisation U de la liaison, en fonction de a et de N , pour chacun des cas suivants :
 - a) roll-call polling sur la Figure 1a, et toutes les stations secondaires sont toujours prêtes à émettre ;
 - b) roll-call polling sur la Figure 1a, et seule une station secondaire est toujours prête à émettre ;
 - c) roll-call polling sur la Figure 1b, et toutes les stations secondaires sont toujours prêtes à émettre ;
 - d) roll-call polling sur la Figure 1b, et seule une station secondaire est toujours 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 3.2 | Bluetooth

La technologie de transmission sans-fil Bluetooth utilise le roll-call polling comme méthode d'accès. Une *station maître* (celle ayant initié la connexion Bluetooth) communique avec un certain nombre de *stations esclaves*. Pour les différencier, la station maître associe à chaque station de sa cellule (y compris elle-même) un identifiant codé sur 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 (et 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 $M = 2$.

4. POLITIQUES D'ACCES DYNAMIQUE A ALLOCATION ALEATOIRE

Exercice 4.1 | Méthode d'accès ALOHA pur

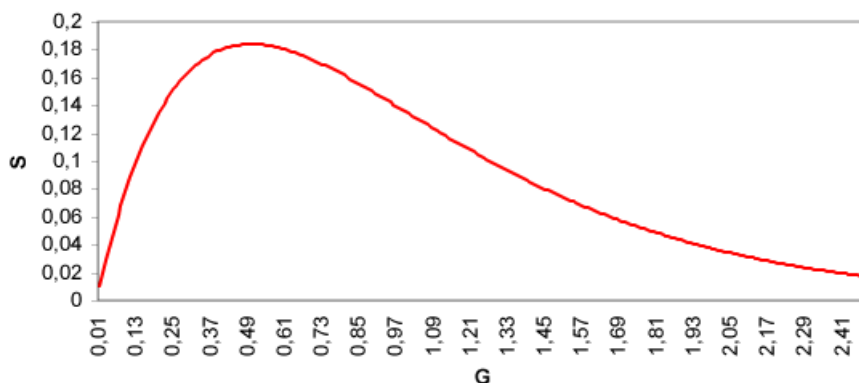
Le principe du protocole **ALOHA pur** est simple : dès qu'une station a besoin d'envoyer une information, elle l'émet, sans aucune précaution particulière. Cependant, si deux ordinateurs émettent une trame en même temps, les signaux se superposent et deviennent incompréhensibles des récepteurs : il y a **collision**. Aucune des deux trames n'arrive à destination.

1. On suppose que les trames ont une longueur fixe de l bits et on note D le débit de la liaison. Donner le temps nécessaire t pour transmettre une trame sur la liaison.
2. On néglige le temps de propagation sur le support. Déterminer la *période de vulnérabilité* de la méthode d'accès ALOHA, correspondant au temps pendant lequel aucune autre station ne devrait émettre pendant qu'une station est déjà en train d'émettre une trame sur le support.

Soit G le nombre moyen de trames émises sur le support par unité de temps et S le nombre moyen de trames émises avec succès (qui ne subissent pas de collisions) par unité de temps. On montre que S s'exprime en fonction de G de la manière suivante :

$$S = Ge^{-2G}$$

Cette dernière relation permet de relier le paramètre S associé au **débit utile** sur le support, au paramètre G associé au **trafic** sur le support. La courbe donnant S en fonction de G est représentée ci-dessous :



3. Commenter cette courbe et déterminer l'efficacité maximum du protocole.
4. Quels sont les deux principaux inconvénients de la technique Aloha pur ?

Exercice 4.2 | 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 station émet une trame, elle écoute simultanément le signal reçu. S'il est différent du signal émis, la station en déduit que son signal est rentré en collision avec celui émis par une autre machine, et cesse alors 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 4.3 | 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 même trame. La valeur de ce délai est déterminée 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 :

☐ Slot occupé par A

☒ 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

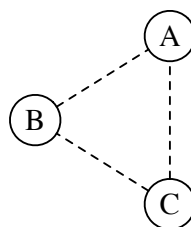
ST	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28

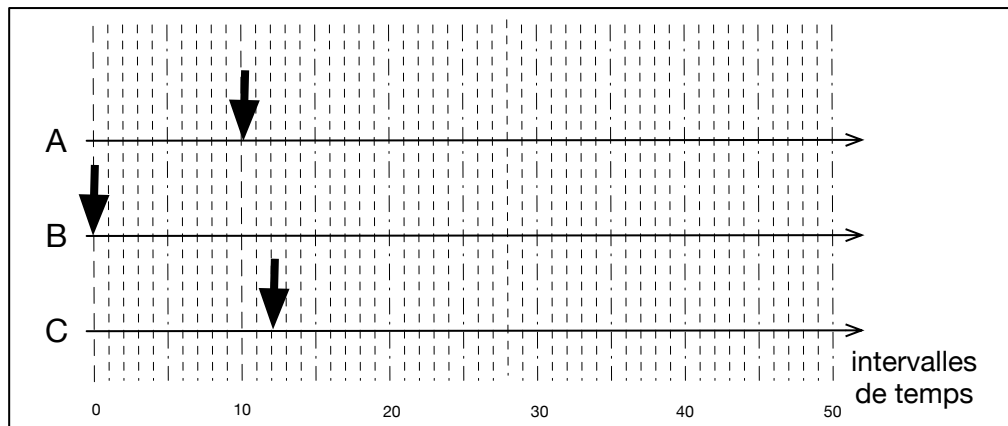
- Calculez sur la période allant de $t = 0$ à la fin de la transmission de la dernière trame, le taux d'utilisation du canal pour la transmission effective des 4 trames.

Exercice 4.4 | 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 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 :

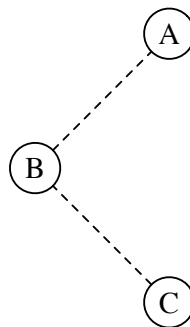
10 intervalles de temps

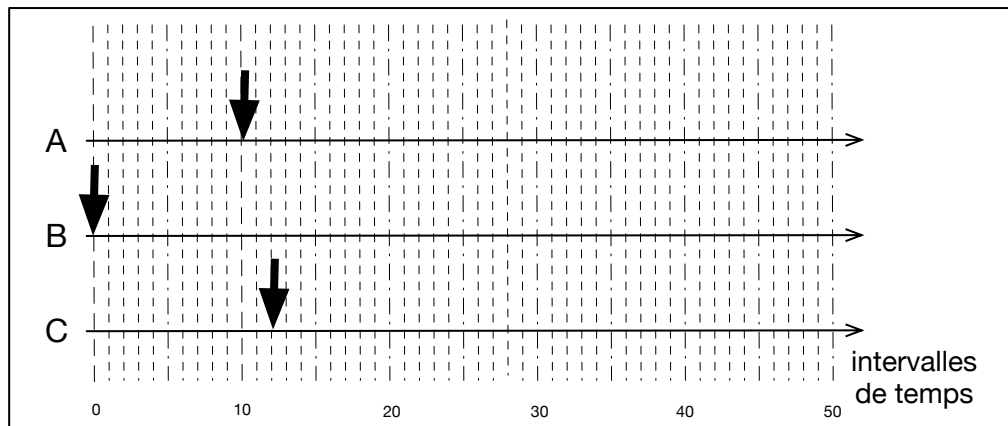
Durée d'un DIFS :

3 Intervalles de temps

Instant où la station est prête à transmettre une trame

2. 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 trois stations donnent-elle lieu à des collisions ?
4. Comment une station émettrice peut-elle être sûr que sa trame est arrivée à destination sans collision ?
5. Quelle est la principale différence entre CSMA/CD et CSMA/CA ?