TECHNIQUES D'ACCES ALEATOIRES

Un canal commun qui relie toutes les sources. Une collision est provoquée quand plus d'une source transmet en même temps, et cela cause la perte des paquets et la retransmission ultérieure. Le débit max que l'on peut espérer est 1, c.à.d. une transmission continue.
Ex: Ethernet.

1. L'ancêtre: ALOHA

Mise en œuvre pour un réseau radio de diffusion de paquets reliant les îles de Hawaii, 1970.

La transmission est complètement décentralisée. A la fin de la transmission de chaque paquet de chaque source, la source reçoit l'information si
- le paquet est bien reçu ou
- s'il y a eu une collision. Dans ce cas il y aura une retransmission à un instant ultérieur.

Problèmes:
- Plus il y a de transmissions, plus il y a de collisions.
- Régime instable: de temps en temps le débit baisse considérablement, tout le monde est en train de retransmettre.
- Le débit max = 0.18; très mauvaise utilisation du canal. Débit 0.18: transmission de toutes les sources pendant 18% du temps. S'il y a 60 sources, chaque source peut transmettre pendant 0.3% du temps.

Aloha en tranches ou Slotted Aloha

Principes:
le temps est discrétisé c.à.d. découpé en tranches de temps appelés slots.

un slot = temps de propagation aller-retour maximum

- Les stations sont synchronisées
- Une station transmet un paquet au début d'un slot

amélioration par rapport au Aloha non-slotté puisque 2 trames qui se superposent ne le font que sur un slot au maximum, au lieu de 2 slots (car ils commencent au début du même slot).

Débit max: 0.36; mauvaise utilisation du canal.

2. ALOHA avec résolution de collisions

Des algorithmes distribués permettent d'arrêter la transmissions de nouvelles données tant que les paquets impliqués dans une collisions ne sont pas transmis. Cela permet d'augmenter le débit. Ex: Algorithme de Capitanakis, 1977.

3. Accès aléatoire avec écoute de la porteuse: CSMA

(Carrier Sense Multiple Access). une station qui désire émettre se met à l'écoute du canal; si elle détecte un signal en ligne, elle diffère l'émission de sa trame.

Les variantes selon le type de décision prise lorsque le canal est détecté occupé:

- **CSMA non-persistant:** lorsque la station détecte un signal, elle attend un délai aléatoire avant de réitérer la procédure (écoute de la porteuse,...);
- **CSMA persistant** (variante retenue) la station "persiste" à écouter le canal jusqu'à ce que celui-ci devienne libre, puis émet;
- **CSMA p-persistant:** lorsque le canal devient libre, la station émet avec une probabilité p, et diffère son émission avec une probabilité (1-p). Ceci permet de diminuer la probabilité de collision par rapport au CSMA persistant.

Période de vulnérabilité: le temps de propagation entre le couple de stations les plus éloignées.

Si la durée des trames est considérablement supérieure à la période de vulnérabilité alors le débit peut s'approcher de un.

4. CSMA/CD, ou CSMA avec détection des collisions

(CD = Collision Detection) La technique la plus utilisée parmi les disciplines d'accès aléatoire. C'est la méthode normalisée par l'ISO. A l'écoute préalable du réseau s'ajoute l'écoute pendant la transmission: un coupleur prêt à émettre, ayant détecté le canal libre, transmet et continue à écouter le canal. S'il se produit une collision,

- il interompt immédiatement sa transmission
- il envoie des signaux spéciaux appelés bits de bourrage afin que tous les coupleurs soient prévenus de la collision
- il tentera la réémission ultérieurement

Ex: Ethernet

5. CSMA/CR avec résolution des collisions

(CSMA with Collision Avoidance, and CSMA with Collision Resolution) Variante de CSMA/CD qui permet d'augmenter l'efficacité du réseau en résolvant la contention avant que les données ne soient transmises. Opère par le biais d'accusés de réception et de temporisateurs. Simple et économique, remplace les circuits de détection de collision.

1 L'ETHERNET

Architecture standard dans les entreprises:
- un réseau Ethernet comme épine dorsale
- à celui là sont connectés des réseaux locaux de type capillaire (Cheapernet, Starlan) capables d'irriguer les différents bureaux de l'entreprise à des coûts bien inférieurs.

Il y a des nombreux réseaux Ethernet normalisés. IEEE 802.3 et 802.9 sont à base de CSMA/CD.

La retransmission: l'algorithme de backoff

- Durée aléatoire avant la retransmission. Tirage d'une variable aléatoire entière $M : 0 \leq M < 2^k$ où $k = \min(n, 10)$, et n est le nombre total de collision subies par la trame.

- Le délai d'attente avant de tenter une nouvelle transmission est pris égal à M fois la fenêtre de collision (la fenêtre de collision est le délai maximum qui s'écoule avant que l'on détecte une collision $=$ 2 fois le temps de propagation d'un signal sur le support).

- Lorsque $n = 16$ il y a abandon de la transmission.

La norme IEEE 802.3

La fenêtre de collision doit être inférieure à 51.2μs. Cela limite les distances à 5km.

Notation:
<débit en Mbit/s>, <modulation ou non: base=bande de base, broad=broadband>, <longueur max d'un segment ×100m>

- IEEE 802.3 10base5 (Ethernet jaune)
  - Réseau Ethernet de base. Des brins de longueur max. de 500m interconnectés par des répéteurs. Les répéteurs récupèrent un signal et le retransmettent après régénération.
  - câble coaxial de 50 Ohms
  - Distance minimale entre 2 stations: 2.5m; au maximum 200 stations par segment. Réseau de 2.5km maximum.
  - Dans des nombreux produits, le signal ne doit pas traverser plus de deux répéteurs.
- IEEE 802.3 10base2 (Cheapernet, Ethernet brin, Thin Ethernet)
- IEEE 802.3 10broad36 (Ethernet large bande, câble coaxial à 75 Ohms)

- IEEE 802.3 1base5 (Starlan à 1 Mbits/s, topologie étoile)
  - Paires torsadées.
  - Distance max hub/station: 250m.
  - Distance max station/station: 250m.
  - Le hub assure la régénération et la répétition du signal, la détection et la notification des collisions.
- IEEE 802.3 10baseT, Twisted-pair (Ethernet sur paires de fils torsadées)
- IEEE 802.3 10baseF, Fiber optique (Ethernet sur fibre optique, longueur max d'un brin = 2km. Topologie étoile/arbre)

Autre standards:

- IEEE 802.9 10baseM, Multimedia
- IEEE 802.11 10baseX (Ethernet Hertzien)

Ethernet Haut Débit: IEEE 802.12, 802.14

(1) IEEE 802.14 100baseT, "Fast Ethernet"

Taille minimale de tram: 64 octets, comme dans 10base5. Tranche canal (durée maximale d'aller-retour) 5,12 μs. (51,2 μs dans 10base5). La durée de silence entre deux trames est réduite à 0,96 μs ($9,6\mu$s dans 10base5). Des contraintes fortes sur la taille du réseau pour qu'une collision soit observée par toutes les stations sur cette durée. Etendue maximale du réseau: 100m (station-station) sur cables (cuivre), 400m (fibre optique). Cette technologie est donc strictement dédiée au racordement de stations dans un environement de bureaux.

Protocole CSMA/CD.

Topologie en étoile autour d'un HUB (répéteur - boîer multipoint pour Ethernet qui émule le comportement du bus et répéte des signaux vers les stations et les HUB amont). 2 types de HUBs.

- HUB de classe 1: accepte un seul répéteur entre deux équiements terminaux (stations); supportent que des les câbles (pairs torsadées). La distance maximale entre las station et le HUB: 100m.

- HUB de classe 2: accepte qu'au maximum 2 répéteurs soit raccordés enesmble. Acceptent une distance maximale entre 2 stations de 205m (incluant le câble entre les HUBs).

Pour accroitre la taille du réseau il faut utiliser un pont ou un routeur.

Chaque station peut être raccordée au réseau par un câble physique MIA (Media Independent Interface (MII) de longueir maximale 0,5m.

Contient

- 100baseTX paires torsadées non blindées: 1 paire en émission, 1 paire en réception, 100m. Même couche physique et codage que FDDI.
- 100baseFX fibre optique multimode, le support: identique à FDDI, jusqu'à 400m.
- 100baseT4 4 paires torsadées (qualité téléphone): 3 pour les données, 1 pour détecter la collision. 100m.

Migration de 10Base5 au fast ethernet: peut se faire progressivement. D'abord un pont ou un routeur, après les HUBs, et après les stations de travail.

Full Duplex Ethernet: pour augmenter les distances, on ajoute des segments point à point qui ont deux voies Ethernet, une dans chaque sens. Plus de collisions. On arrive à 2km.

(2) Concentrateurs commutés - Switched HUB

Permet de conserver une compatibilité totale avec Ethernet 10MBit/s. Il suffit de changer le HUB.

On offre toute la bande passante de 10Mbit/s à un usager s'il est le seul a être raccordé avec son correspondant. Il y aura très peu de collisions. On utilise un commutateur rapide qui dirige les messages exclusivement vers le destinataire. La bande passante du HUB est N/2 $\times$ 10Mbit/s où N est le nombre de ports. Le HUB commuté a de 8 à 128 ports. Bande passante max: 40Mbit/s à 640Mbit/s.

La connaissance des addresses se fait par une auto-apprentissage comme dans les ponts. Lorsequ'une émission débute, le commutateur construit une connexion entre le port origine et le port de la station destinataire, s'il est libre. Sinon il génère un signal de collision sur le port de l'émetteur.

Diffusion (multipoint) est possible, mais on perd l'avantage en bande passante.

Quand il y a un serveur rapide, on peut monter plusieurs coupleurs Ethernet sur le serveur. Solution couteuse: il faut un serveur qui accepte des branchements multiples, et il faut acheter plusieurs coupleurs. Solution alternative: HUB commuté mixte (hybride), qui dispose des ports de 10Mbit/s et de 100Mbit/s. Ces hubs sont plus comlexes: doivent mémoriser toute une trame avant de la transmettre, afin de faire la conversion de débit.

(3) IEEE 802.12 100VG AnyLan

- Protocole déterministe, différent de CSMA/CD. Le but: offrir un débit de 100 Mbit/s sur des câbles téléphoniques 4 paires de catégories 3, 4, 5. Catégorie 3: qulaité vocale "Voice Grade" (VG) - 100m de longueur maximale du câble de raccordement (station - HUB). Catégorie 4: 100m, Catégorie 5: 150m. Extensions prévues pour les câbles de type 2 (UTP ou STP) et pour des fibres optiques (FO) - 2000m de longueur max.
- Compatible avec des trames Ethernet et des trames Token Ring ("any" LAN). Mais un réseau supportera l'un ou l'autre de ces formats, pas les deux. (Le passage entre deux se fait par un pont).
- Topologie arbre.
- Sorte de polling. Le Hub (nœud) racine attend les requêtes de ses sous-arbres et donne l'accès à ses sous-arbres à tour de rôle. Même politique dans les sous-arbres.
- 2 niveaux de priorités: trafic synchrone et asynchrone. Un délai maximum d'accès est garanti pour le trafic synchrone ainsi qu'un débit moyen.

- max 3 niveaux de HUB dans l'arbre.

2 Algorithmes de Résolution de Contentions

Le but: augmenter le débit max (1/e pour le Aloha discret).

Idée: introduire des périodes de résolution de contention (PRC), durant lesquelles les sources qui ne sont pas impliquées dans une collision ne transmettent pas.

Ex. "intuitif" pour montrer l'amélioration du débit: S'il y a une collision, avec forte probabilité il ne s'agit que de deux paquets. Supposons que après cette collision les autres sources n'emettent pas jusqu'à la fin de la PRC. Supposons que chacune des deux sources impliquées dans la collision retransmet son paquet avec proba. 0.5 jusqu'à une transmission réussite. La durée de la PRC sera
1+2 (0 nouvelles collisions) avec proba. 1/2,

1+1+2 avec proba. 1/4,

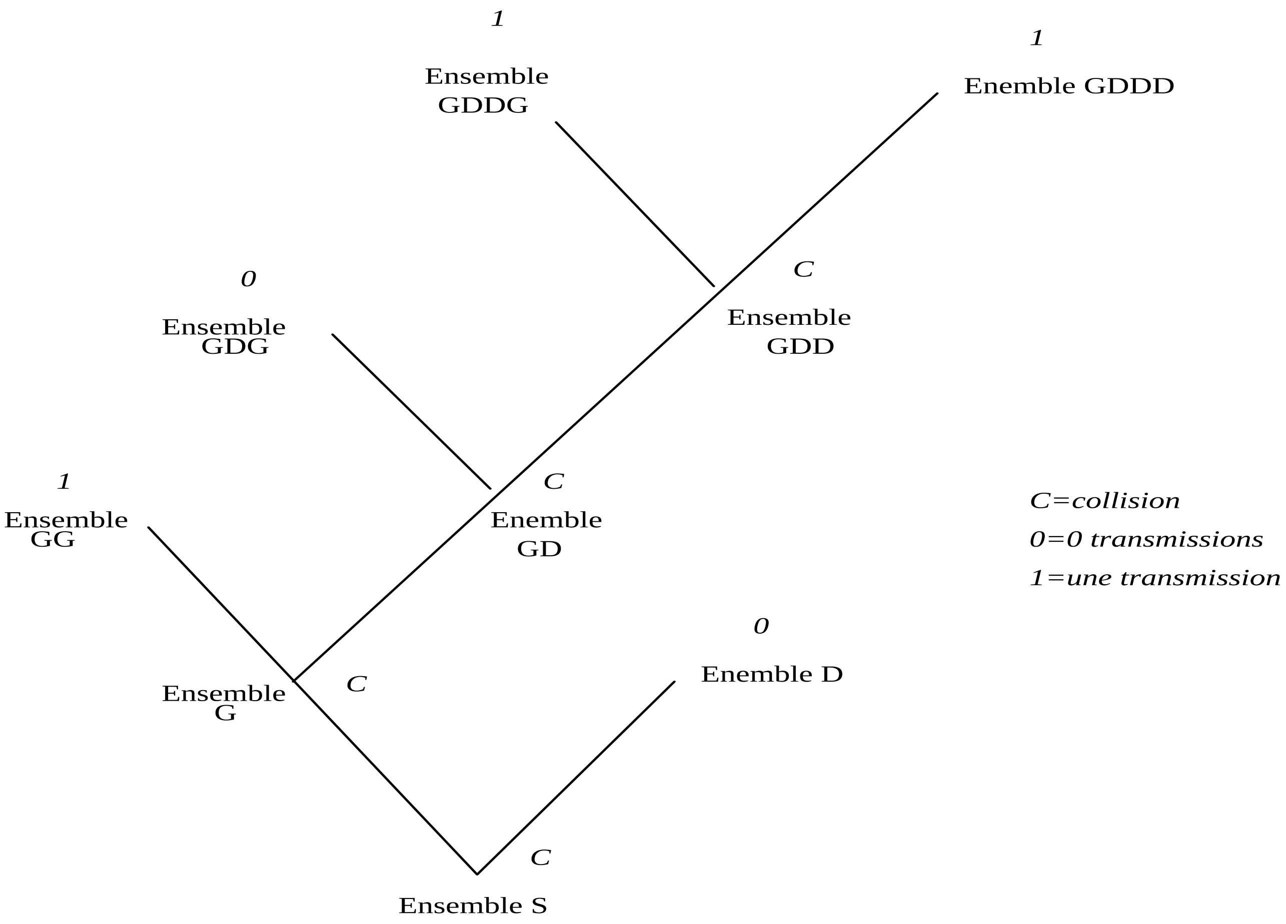
$1{+}i{+}2$ avec proba. $2^{-(i+1)}$ $\quad$ ($i = \#$ de nouvelles collisions).

L'espérance de la durée de la PRC est 1+1+2=4. Le débit moyen est donc 1/2 pendant les PRCs.

Algorithme de résolution de Capitanakis

S'il y a une collision à l'instant k toutes les sources non impliquées arrêtent de transmettre et une PRC commence:

- (1) Celles impliquées se divisent en deux groupes.
- (2) Toutes les sources appartenant au premier groupe essaient de retransmettre à l'instant $k + 1$.
- (3a) S'il y a des collisions à l'instant $k + 1$ (>1 transmission), on résout d'abord la collision de l'instant $k+1$ (suivant (1,2,3,4); k:=k+1)).
- (3b) S'il n'y a pas de collisions à l'instant $k + 1$ (0 ou 1 transmission), toutes les sources appartenant au deuxième groupe essaient de retransmettre à l'instant $k + 2$.
- (4a) S'il y a des collisions à l'instant $k+2$ (>1 transmission), on résout la nouvelle collision suivant (1,2,3,4) (k:=k+2).
- (4b) S'il n'y a pas de collisions à l'instant $k + 2$ (0 ou 1 transmission), la PRC est terminée.


1
Ensemble GDDG
1
Enemble GDDD
C
Ensemble GDD
0
Ensemble GDG
C
Enemble GD
1
Ensemble GG
C=collision
0=0 transmissions
1=une transmission
0
Enemble D
Ensemble G
C
C
Ensemble S

On obtient un arbre (voir transparent).

S, à la racine, représente l'ensemble de sources impliquées dans la contention.

G (gauche) et D (droite) représentent les deux sous-ensembles obtenus par (1).

GG et GD représentent les deux sous-ensembles obtenus quant les sources dans G se partagent en deux suite à une collision (3a).

Chaque sommet dans l'arbre correspond à un sous-ensemble (pouvant être vide) de paquets à retransmettre. Des sommets contenant plus d'un paquet auront deux branches. Des sommets contenant 0 ou 1 paquets sont des feuilles.

D'abord on transmet S;
Après la transmission de chaque ensemble qui ne correspond pas à une feuille, on transmet d'abord le sous-ensemble sur la branche de gauche ainsi que tous ses descendants, puis le sous-ensemble sur la branche de droite ainsi que tous ses descendants.

Chaque source peut reconstruire l'arbre car toutes les sources reçoivent la même information (0,1,c).

L'ordre de transmission correspond à une pile. Quand il y a une collision, l'ensemble des paquets est divisé en deux, et chaque sous-groupe est empilé. Puis, le groupe en tête de la pile est dépilé et transmis.

Les paquets qui arrivent pendant une PRC attendent jusqu'à la fin de la PRC, et sont alors transmis.

Problème: si la PRC est longue alors il y a une forte chance qu'il y ait plus d'un paquet qui arrivent, et donc il y aura une forte chance d'une collision.

Solution: A la fin de la PRC l'ensemble de sources est divisé en j sous-ensembles, où j est choisi en sorte que l'espérance du nombre de paquets dans chaque sous-ensemble est un peu supérieure à un. On transmet le $i$ème sous-ensemble une fois que la PRC du sous-ensemble précedent est terminée.

Le débit max obtenu est 0.43 (Capitanakis).

Améliorations

Eviter des collisions sûres Si à l'instant suivant une collision (pendant la transmission de paquets d'un ensemble S) il n'y a pas de paquets transmis ($G = \emptyset$), c'est sûr qu'il y aura une collision à l'instant suivant. En effet, on a $S = D$.

Amélioration: on peut diviser D en DG et DD et transmettre immédiatement DG sans transmettre d'abord D.

Implémentation: chaque source doit avoir un drapeau qui vaut 1 si pour un $i \geq 1$, les derniers i instants contiennent une collision suivie par $i - 1$ instants sans collision. Autrement, il vaut 0.

On obtient un débit de 0.46.

Problème: Sensibilité à des erreurs. Si une indication de non-collision est perçue (par erreur) comme une collision, on continuera toujours de diviser l'ensemble, il n'y aura plus de retransmissions, et la PRC ne finira pas.

Solution: Au bout d'un nombre h de telles unités de temps sans transmissions on transmet quand même le sous-ensemble présent sans le diviser.

Nouveaux nœuds qui deviennent actifs

Pour que les algorithmes précédents fonctionnent, toutes les sources doivent écouter le canal tout le temps, même celles qui ne sont pas actives.

Amélioration: quand il y a des nouveaux paquets à retransmettre, ils sont empilés en tête de la pile. Donc, seules les sources retransmettant doivent écouter le canal.

p. 228 amélioration 2. Exercice voir prob. 4.17.

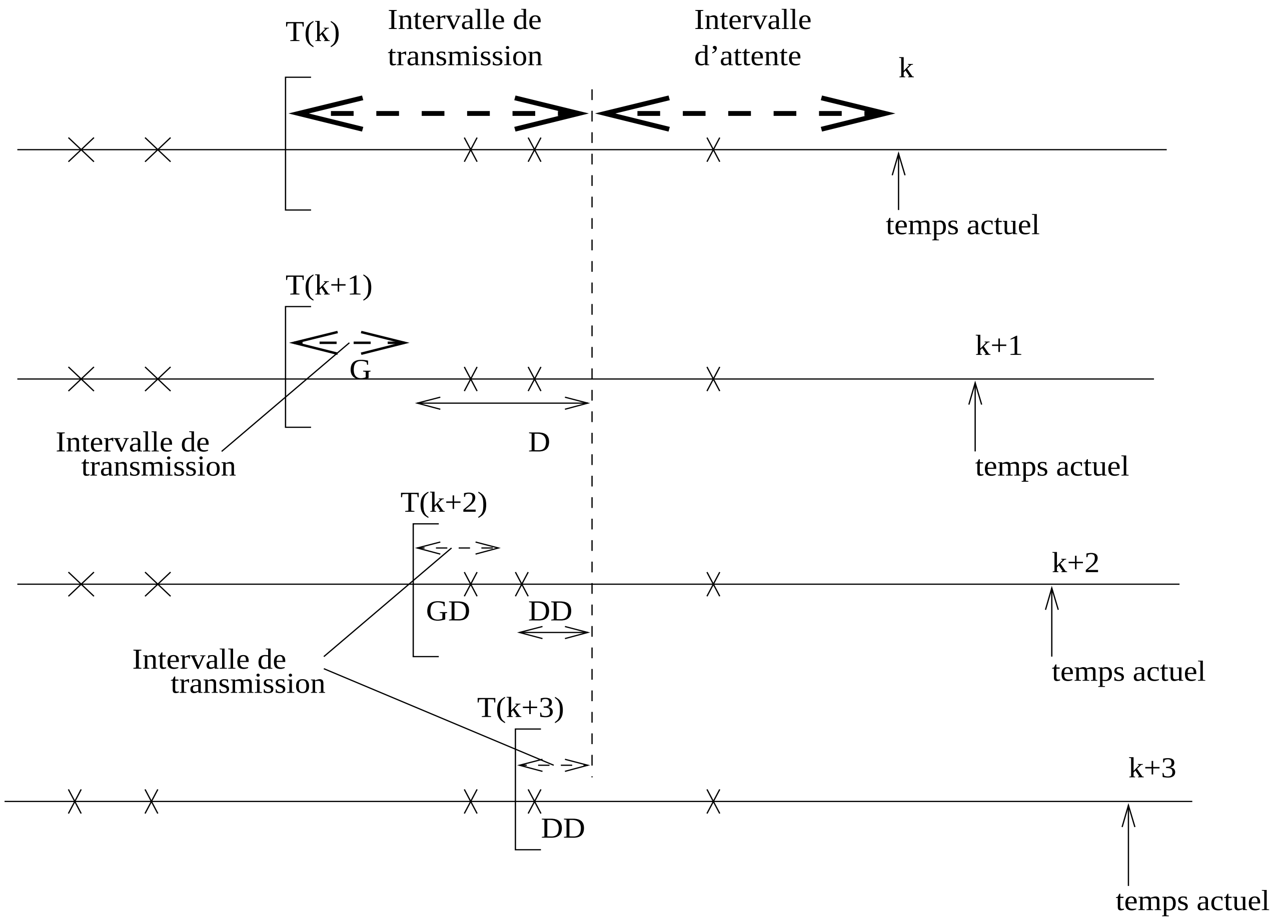
Comment diviser?

1) Exemple: FIFO. S'il y a une collision à l'instant k, le prochain groupe qui va transmettre va contenir tous les paquets qui sont arrivés pendant la période (avant k) $[T(k), T(k)+\alpha(k)[$. L'ensemble des algorithmes FIFO sont ceux qui déterminent $T(k)$ et $\alpha(k)$.

Si à la $k$ième unité de temps il y a une collision, l'intervalle alloué (pour les transmissions à l'instant k) est divisé en deux sous-intervalles égaux: le premier, correspond à l'ensemble G, sera l'intervalle alloué (pour retransmissions) à l'instant $k+1$, et le deuxième à D. Donc $T(k+1) = T(k)$ et $\alpha(k+1) = \alpha(k)/2$.

Chaque source sait à quel groupe et sous groupes elle appartient, mais elle ne sait pas a-priori quelles autres sources y appartiennent.

2) autre possibilités: randomiser.


T(k)
Intervalle de transmission
Intervalle d'attente
k
temps actuel
T(k+1)
G
k+1
D
Intervalle de transmission
temps actuel
T(k+2)
k+2
GD
DD
Intervalle de transmission
temps actuel
T(k+3)
k+3
DD
temps actuel