

Les normes IEEE 802.11 – WiFi (consortium de développement *Wi-Fi Alliance*) concernent l'ensemble des technologies des réseaux locaux sans fil WLAN (*Wireless Local Area Networks*). Elles consistent à définir le fonctionnement et les caractéristiques de réseaux locaux au niveau de la couche Liaison/MAC et de la couche Physique. La gamme de débits visée est de 2 Mb/s, 11 Mb/s, 54 Mb/s, 250Mb/s et plus en fonction des normes et des bandes de fréquences utilisées.

Question 1 : Quelles sont les topologies possibles dans un réseau IEEE 802.11 ?

Solution :

- *La topologie ad-hoc : Les stations forment un réseau sans AP (Access Point). Chaque station est une entité du réseau ad-hoc entière.*

- *La topologie d'infrastructure : des AP forment un réseau. Les stations ne communiquent pas directement. Ce sont les AP qui organisent les transmissions.*

Un cas particulier est la topologie pont : elle est utilisée si deux sites sont directement reliés. Les stations d'un site peuvent communiquer avec celles d'un autre site via la liaison à l'aide du pont de chaque côté.

Question 2 : Dans la couche Physique, la norme IEEE 802.11–2007 supporte des débits variés. De quoi dépend le débit ?

Correction :

Le débit est dépendant de la norme utilisée (évolution des technologies).

Si on prend IEEE 802.11g comme un exemple :

- *La plage de fréquences (bande passante autorisée), dans l'IEEE 802.11g, est de 2,412 à 2,484 GHz. La largeur d'un canal est de 22MHz. En générale, plus la largeur est élevée, plus le nombre de bits pouvant être transportés est grand. Notons que les nouveaux standards utilisent des plages de fréquences très variées (80-160 MHz, 3,6GHz, 5GHz, 6GHz)*
- *La modulation utilisée, par exemple, dans l'IEEE 802.11g est la modulation 64QAM qui supporte un débit de 54Mb/s. La modulation 64QAM permet de transporter 64 bits par porteuse. Dans les premiers IEEE 802.11, c'est 8QAM était utilisé (8 bits par porteuse). Notons que les nouveaux standards préconisent la modulation en 256QAM. Dans les nouveaux standards IEEE 802.11, la technique OFDMA est également utilisée. Cette technique permet de supprimer l'intervalle de la garde. De plus, OFDM permet de transporter plus de bits par symbole grâce à «multi-porteuses».*
- *La technologie MIMO (2x2, 4x4 et 8x8)*
- *Le codage (codes correcteurs) permet de détecter et de corriger des erreurs de transmission. Par conséquent, permet l'augmentation de débit.*

Le protocole d'accès au médium WiFi présente des différences significatives par rapport à l'Ethernet, en particulier il existe deux catégories de mode de partage de la voie commune radio utilisée pour communiquer (DCF – *Distributed Coordination Fonction* et PCF – *Point Coordination Function*).

Avec la topologie «ad hoc», le réseau s'auto-organise en fonction des stations qui se trouvent suffisamment proches et peuvent communiquer par radio. La méthode de partage de la voie commune (méthode d'accès au médium ou encore niveau MAC) utilisée est alors baptisée DCF. Elle est conçue pour des communications asynchrones dans lesquelles chaque station devrait avoir une chance égale d'accéder au médium. Le partage de la voie commune radio est de type CSMA.

Question 3 : Que signifie CSMA et quel est le choix technique relatif au protocole d'accès au médium réalisé en adoptant CSMA (quelles sont les variations) ?

Correction :

CSMA signifie « Carrier Sense Multiple Access ». C'est une méthode d'accès se basant sur l'écoute de chaque station.

Dans le réseau IEEE 802.11, le médium est souvent en mauvaise qualité (beaucoup de bruits, par exemple). Donc, le choix technique est la méthode CSMA/CA qui est créée pour prendre en compte la mauvaise qualité du médium.

Rappelons que la méthode d'accès d'Ethernet est CSMA/CD qui est une méthode d'accès multiple avec collision détectée.

Le mode d'ajournement utilisé dans le partage de la voie commune radio 802.11 est un ajournement non persistant. Lorsqu'une station souhaite émettre elle écoute le médium. Si pendant un délai fixe baptisé DIFS ("Distributed Inter Frame Spacing") aucune autre station n'émet, la station commence à émettre à l'issue du délai DIFS. Si une station a déjà commencé à émettre, la station en écoute ajourne sa transmission pendant toute la durée du message en cours. A l'issue de cette attente, elle attend en plus un délai initialisé à une valeur calculée selon une méthode analogue à celle du «binary backoff» d'Ethernet.

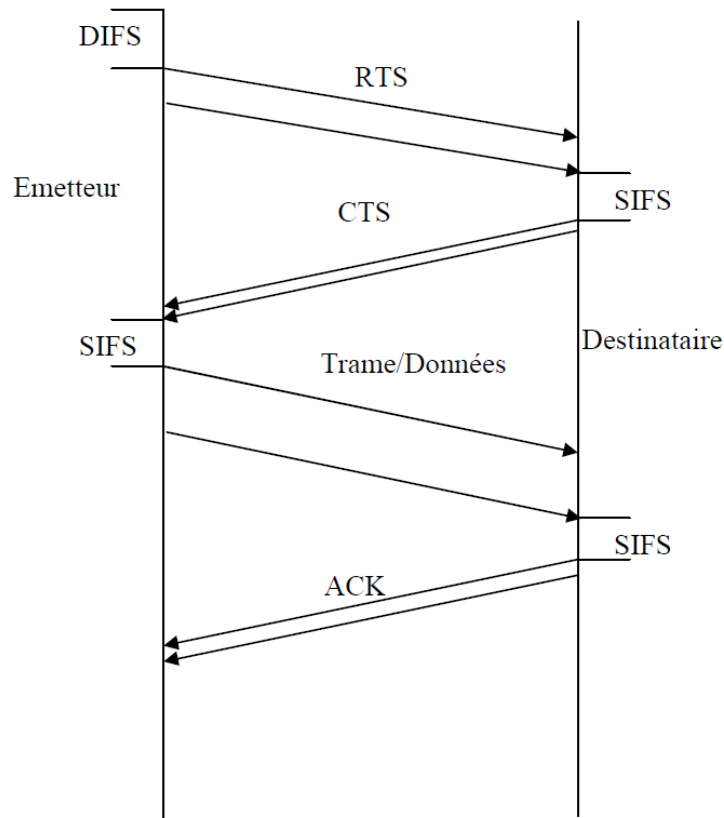
La détection des collisions réalisée par le réseau Ethernet étant coûteuse et inefficace dans le mode de communications radio (en cas d'échec, une station doit doubler le temps d'attente), le mode de traitement des collisions utilisé est un mode par acquittement positif.

Question 4 : Décrivez le principe de la méthode CSMA/CA entre l'émetteur et le récepteur en supposant que l'émetteur est la seule station ayant des données à émettre.

Correction :

A l'aide des deux messages supplémentaires (RTS-Request to Send et CTS-Clear To Send), CSMA/CA permet à toutes les autres stations de comprendre qu'une transmission est en cours.

Le diagramme suivant note deux lignes parallèles pour RTS, CTS et ACK dans le but d'illustrer les volumes de ces messages RTS, CTS et ACK. En générale, les messages CTS et ACK sont plus petits.



Toute trame de donnée est suivie, après une attente courte baptisée SIFS (*Short Inter Frame Spacing*), d'une trame d'acquittement positif par le destinataire. Si l'acquittement positif n'est pas retourné, l'émetteur considère qu'il y a eu une collision. Il entre alors dans une phase d'attente aléatoire définie de manière similaire à celle du réseau Ethernet. Les différences portent sur les constantes de temps (valeur de timeslot) et d'initialisation de l'algorithme du retard binaire (binary backoff).

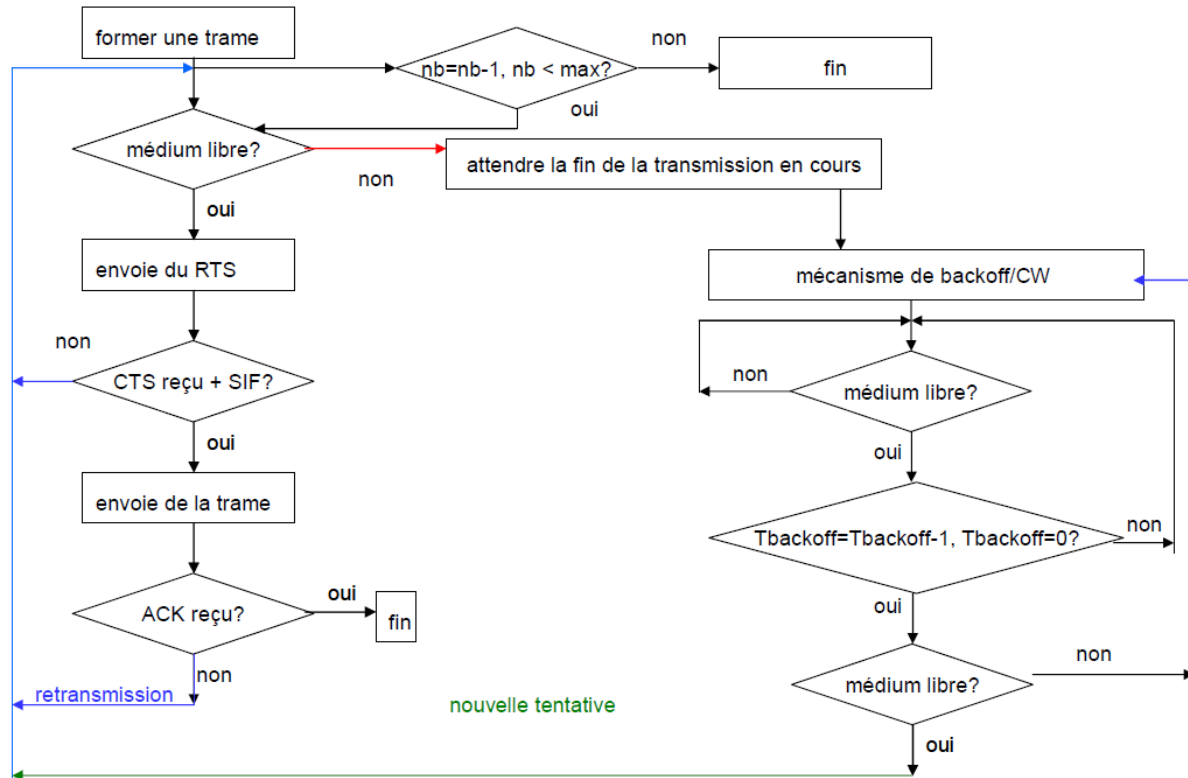
Dans un réseau IEEE 802.11, on définit une fenêtre de contention CW comprise entre CWmin et CWmax permettant de calculer un temporisateur T-backoff, qui est une valeur aléatoire comprise entre CWmin et CWmax, multipliée par le Timeslot (quelques microsecondes). Chaque fois que le médium est libre, T-backoff est décrémenté de 1. Dès que T-backoff atteint la valeur 0, une tentative d'émission aura lieu.

Question 5 : En se basant sur la description ci-dessus, décrivez les principes de la méthode CSMA/CA par un diagramme.

Correction : diapo 48

CSMA/CA « *Carrier Sense Multiple Access* » repose sur le principe d'écouter le médium et de différencier/donner une signification au temps d'attente au médium (suivant la longueur). CA signifie que la collision est évitée en utilisant les deux messages (RTS et CTS) entre l'émetteur et le récepteur.

Le diagramme simplifié est le suivant (nb = nombre des tentatives ; CW = backoff x slot-time):



On s'intéresse maintenant à un cas d'étude suivant : le réseau local sans fil gère les stations A, B et C.

Dans ce problème on utilise comme mesure de temps le timeslot (ou slot). Les délais d'espacement inter-trames (DIFS et SIFS) ainsi que les durées de détection (cad déterminer si le médium est libre) sont négligés. La valeur CWmin (Contention Windows) est égale à zéro et celle de CWmax est égale à 4.

A l'instant $t = 0$, la station A acquiert le médium et commence à transmettre une trame (le message RTS).

A l'instant $t = 5$, les stations B et C veulent envoyer leurs trames. Puis, pendant toute la durée considérée dans l'exercice, aucune autre demande de transmission n'est soumise aux stations.

Tous les messages de données sont de taille fixe et la durée de leurs transmissions est égale à 3 slots, les messages RTS et CTS sont à 1 slot. Tous les acquittements ont une durée de 1 slot.

Le mécanisme Tbackoff fonctionne de la façon suivante : si le médium est libre, la station décrémente de 1 jusqu'à la valeur de Tbackoff à zéro. Si au bout du temps d'attente Tbackoff (=0), le médium n'est pas libre, la station re-initialise la valeur Tbackoff.

Rappelons que la valeur $T_{backoff} = CW \times \text{timeslot}$ où la valeur de timeslot est égale à 1.

Dans l'exemple on considèrera que la valeur CW rend successivement pour chaque station les valeurs données par le tableau suivant :

Station	B	C
1 ^{er} tirage	2	1
2 ^{ème} tirage	2	3
3 ^{ème} tirage	2	1

* la mise à jour de la valeur $T_{backoff}$ vaut un timeslot.

Question 6 :

Déterminez le nombre de slots nécessaire à chaque station pour transmettre un message de données en remplissant la figure suivante (expliquez bien l'état de chaque slot)

Correction :

A $t = 0$, la station A acquiert le médium. 1 slot = RTS, 1 slot=CTS, 3 slots = transmission du message, 1 slot = ACK. Le nb des slots = 6

L'ordre de transmission = AAAAAA (du slot n°0 au slot n°5)

A $t = 5$, les stations B et C veulent envoyer leurs messages. Donc, B et C sont en compétition. A ce moment ($t = 5$), le médium est occupé par la station A, les stations B et C calculent leurs valeurs $T_{backoff}$ (1er tirage).

La station B : $T_{backoff}$ (le temps d'attente) = $2 \times 1 = \text{timeslots}$,

La station C : $T_{backoff}$ (le temps d'attente) = $1 \times 1 = \text{timeslots}$,

A $t = 6$, le médium est libre. Les stations B et C décrémentent leurs $T_{backoff}$.

La station B : $T_{backoff}$ (le temps d'attente) = 1 timeslot,

La station C : $T_{backoff}$ (le temps d'attente) = 0 timeslot,

A $t = 7$, le médium est libre.

La station B décrémente sa valeur $T_{backoff}$, $T_{backoff}$ (le temps d'attente) = 0 timeslot,

La station C acquiert le médium. 1 slot = RTS, 1 slot = CTS, 3 slots = transmission du message, 1 slot = ACK. Le nb de slots = 6

L'ordre de transmission = CCCCCC (du slot n°7 au slot n°12)

A t = 8, le médium est occupé.

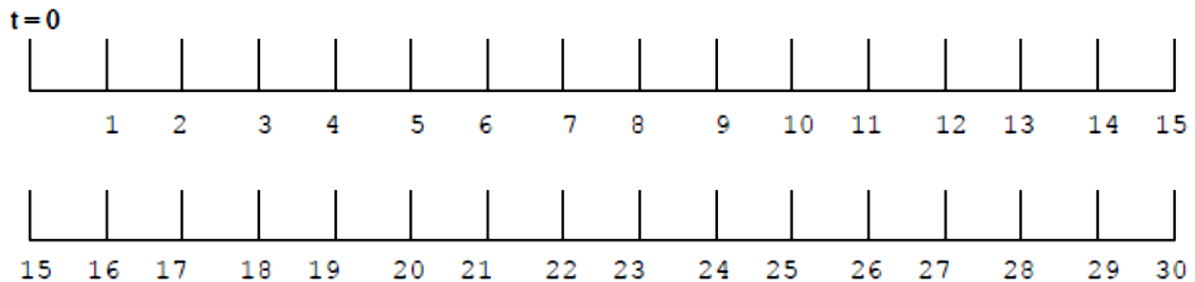
A t = 13, le médium est libre. La station B décrémente de 1 sa valeur Tbackoff (=0)

A t = 14, la station B acquiert le médium. 1 slot = RTS, 1 slot = CTS, 3 slots = transmission du message, 1 slot = ACK. Le nb de slots = 6

L'ordre de transmission = BBBBBB (du slot n°14 au slot n°19)

Question 7 : Complétez le diagramme suivant en indiquant pour chaque slot l'état du médium.

- Un slot occupé par la transmission d'un message correctement émis par la station A est représenté par "A"
- Un slot occupé par une collision est représenté par "-"
- Un slot correspondant à une absence de transmission est représenté par "x"



Correction :

Suivre la réponse à la question 6

Note :

- 1) il n'y a pas de collision ;
- 2) Le reste des tirages au sort n'a pas eu lieu.

Question 8 : On considère que le rendement du débit est estimé par le rapport entre le débit utilisé (le nombre de slots occupés) et le débit non utilisé (le nombre de slots non occupés). Quel est le rendement ?

Correction :

Rendement = 18 slot-times/20 slot-times = 90 %

Attention, il faut compter le slot n°0.

Note : Attention, l'exercice n'utilise pas les vraies valeurs définies par la norme IEEE 802.11, par exemple, la valeur CWmax est de 1024 (à la place de 4 dans cet exercice).

Dans l'autre organisation du réseau baptisée « infrastructure », le réseau est organisé en cellules appelées BSS (*Basic Service Set*). Chaque cellule réunit plusieurs stations ayant un coupleur IEEE 802.11 et possède un dispositif spécifique baptisé point d'accès AP (*Access Point*) qui connaît toutes les stations de la cellule. Dans ce mode, le point d'accès AP joue le rôle d'arbitre centralisé dans un protocole de communication par scrutation (ou « polling »).

Question 9 : Rappelez les principes généraux d'un protocole de partage d'une voie commune par scrutation.

Correction :

AP envoie une trame BEACON pour annoncer la période Contention-Free. Ensuite AP envoie tour à tour à chaque station une requête « polling » grâce à l'identifiant SSID de chaque station. La station « interrogée » envoie une trame à son destinataire. Elle doit recevoir un ACK.

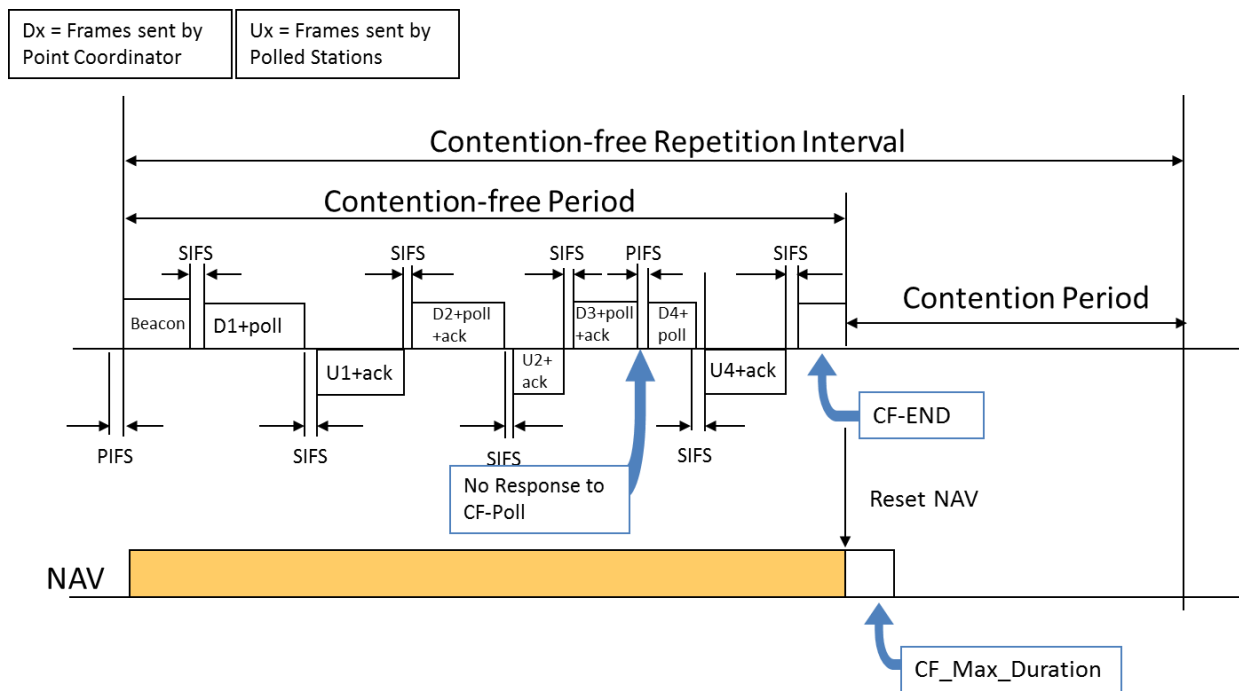
AP s'organise un ordre de transmissions, donc il n'y a pas de collision.

Rappelons que les réseaux locaux commutés offrent les mêmes méthodes d'accès, l'adressage et les mêmes formats de trames que les réseaux partagés pour des raisons de compatibilité.

On reprend le même cas d'étude où les trois stations A, B et C sont au même réseau local. A $t=0$, la station A veut envoyer un message. A $t=5$, les stations B et C veulent envoyer leurs messages. Dans l'ordre A-B-C, les requêtes (polling) sont envoyées durant la période Contention-Free. Autrement dit, l'AP interroge d'abord la station A, ensuite la station B et enfin la station C.

Un message vaut 3 slots, une requête (polling) venue de l'AP vaut 1 slot, une réponse (ACK) venue d'une station vaut également 1 slot. On ignore les intertemps (PIFS et SIFS).

Le message *Beacon* (1 slot, le message est illustré par la figure suivante) diffusé dans le réseau permet d'indiquer le début de la période Contention-Free. On suppose que cette période vaut 30 slots.



Question 10 : Déterminez le nombre de slots nécessaire à chaque station pour transmettre un message de données en remplissant la figure suivante (expliquez bien l'état de chaque slot)

Correction :

A $t = 0$, le message Beacon est envoyé. 1 slot. La station A ne peut pas accéder au médium sans l'autorisation de l'AP.

A $t = 1$, la requête est adressée à la station A. 1 slot

A $t = 2$, la station A envoie une trame (3 slots) ensuite elle reçoit un ACK (1 slot). Au totale : 4 slots.

A $t = 5$, les stations B et C ne peuvent pas accéder au médium. Elles attendent leurs tours.

A $t = 6$, la requête est adressée à la station B. 1 slot

A $t = 7$, la station B envoie une trame (3 slots) ensuite elle reçoit un ACK (1 slot). Au totale : 4 slots.

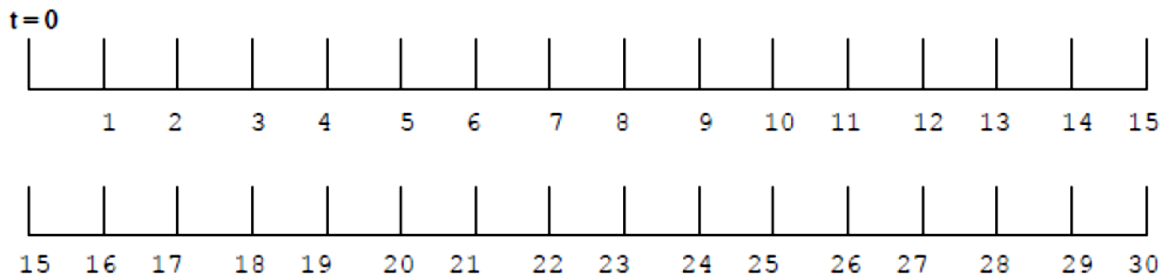
A $t = 11$, la requête est adressée à la station C. 1 slot

A $t = 12$, la station B envoie une trame (3 slots) ensuite elle reçoit un ACK (1 slot). Au totale : 4 slots.

Avec la méthode «centralisée» (PCF), 16 slots ont été utilisés.

Question 11 : Complétez le diagramme suivant en indiquant pour chaque slot l'état du médium.

- Un slot occupé par la transmission d'un message correctement émis par la station A est représenté par "A"
- Un slot occupé par une collision est représenté par "- "
- Un slot correspondant à une absence de transmission est représenté par "x"



Correction : au total, 16 slots (1^{er} slot pour le Beacon) sont consommés comme décrits par la réponse de la question 10.

Question 12 : Pourrais-t-on conclure que l'accès organisé durant la période Contention-Free est meilleure en comparant entre la réponse de la question 7 et celle de la question 11 ?

Correction : Si on compare le nombre des slots consommés par les deux méthodes d'accès, on peut dire que l'accès organisé est meilleure.

Notons que dans un réseau, une comparaison entre deux méthodes d'accès doit être effectuée durant une longue période pour que la conclusion soit fiable. Donc, une simple comparaison comme la réponse de la question 12 n'est pas fiable. Cependant, la réponse montre quand même que la performance de la méthode «accès organisé» est meilleure. La contre-partie est que la gestion de cette méthode est plus complexe (comment gérer l'ordre de polling ? si une nouvelle station rejoint le réseau).