

Chapitre II :

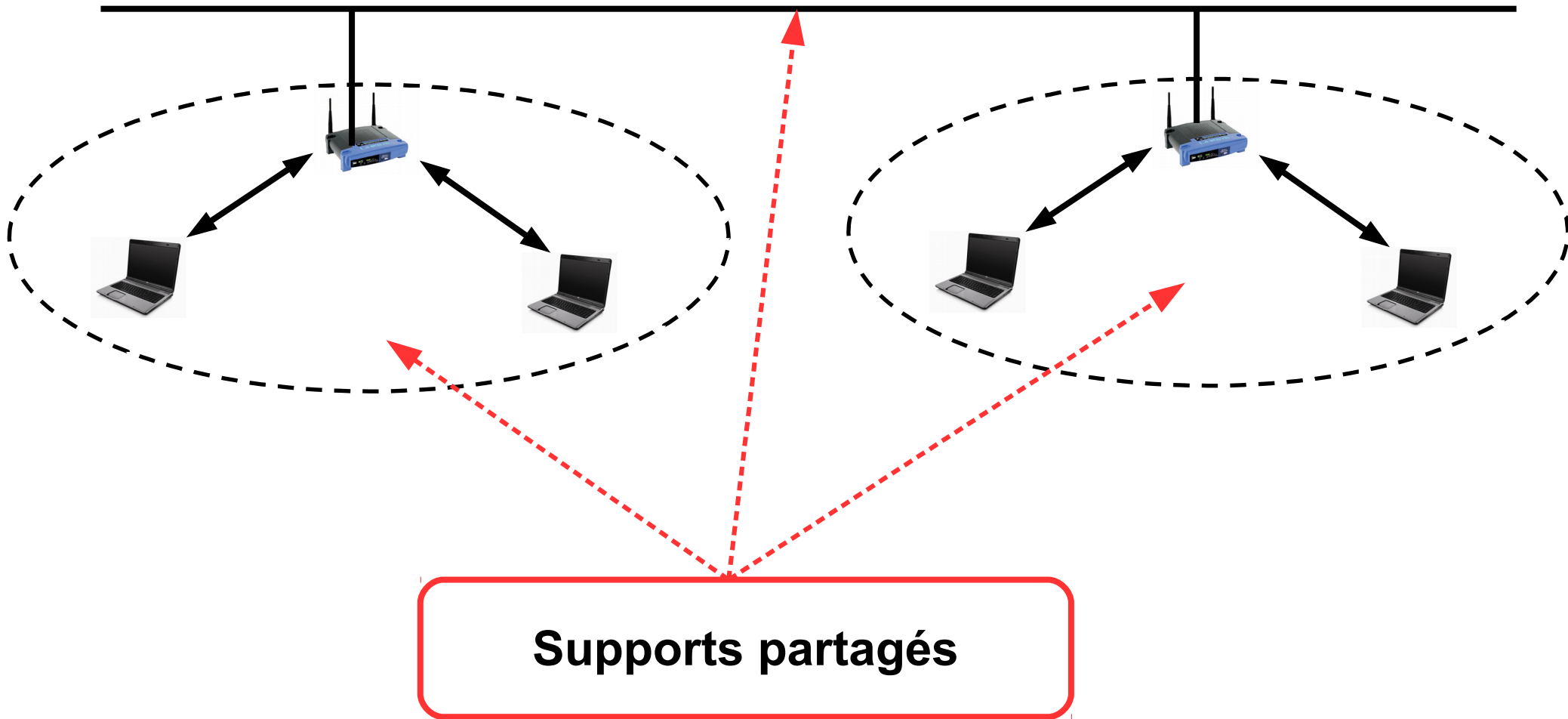
Les méthodes d'accès au canal

Amine DHRAIEF
Master de Recherche WI
ESEN, Université De La Manouba

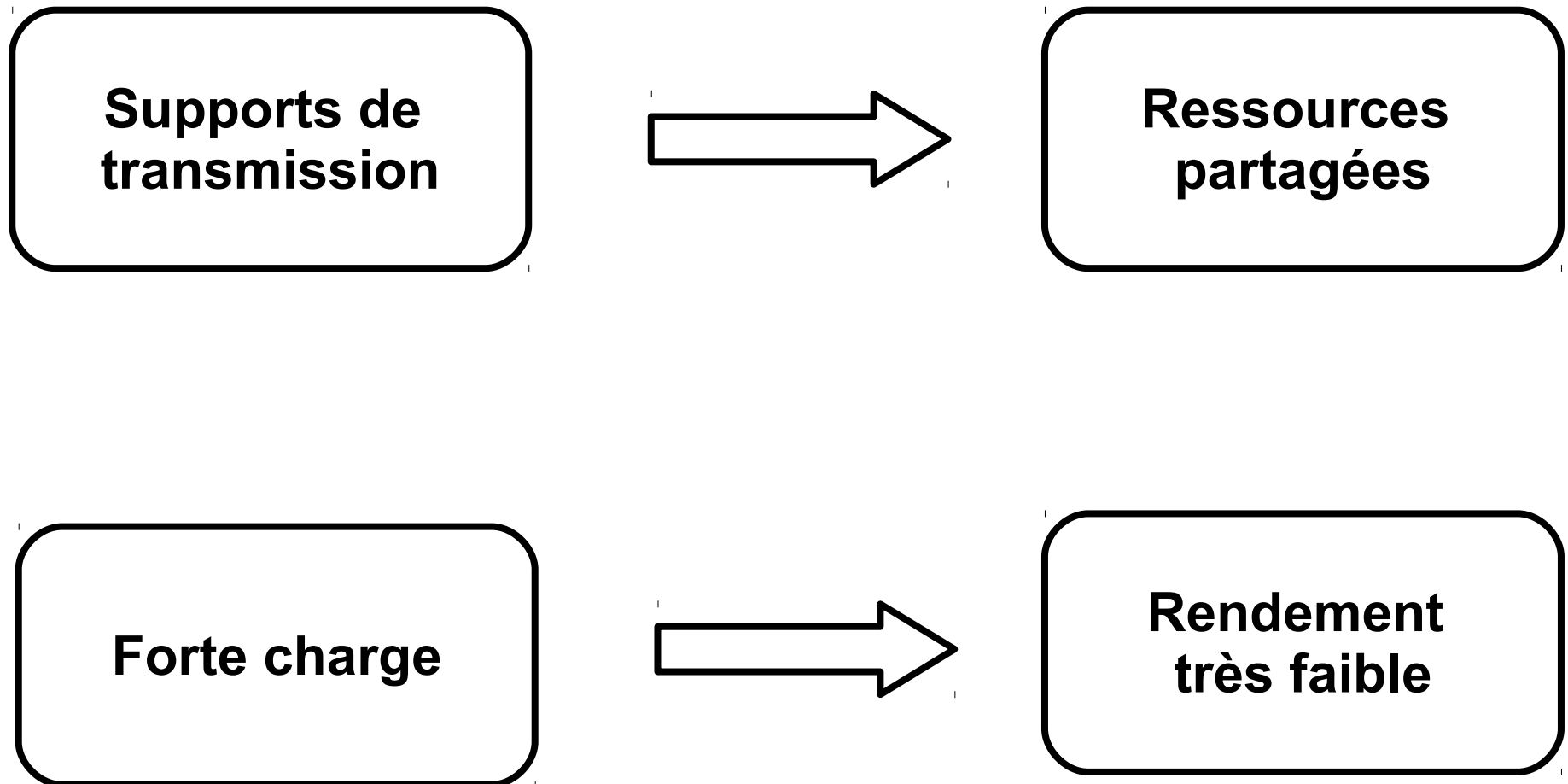
Contexte

- **Les réseaux utilisent des liaisons**
 - Point-à-point
 - Multipoints
- **Les liaisons point-à-point :**
 - un émetteur $\leftarrow \rightarrow$ un récepteur
 - Généralement bidirectionnel
 - Facile à exploiter : support de transmission dédié
- **Les liaisons multipoints :**
 - Permettent de joindre plusieurs équipement à la fois
 - Support de transmission partagé

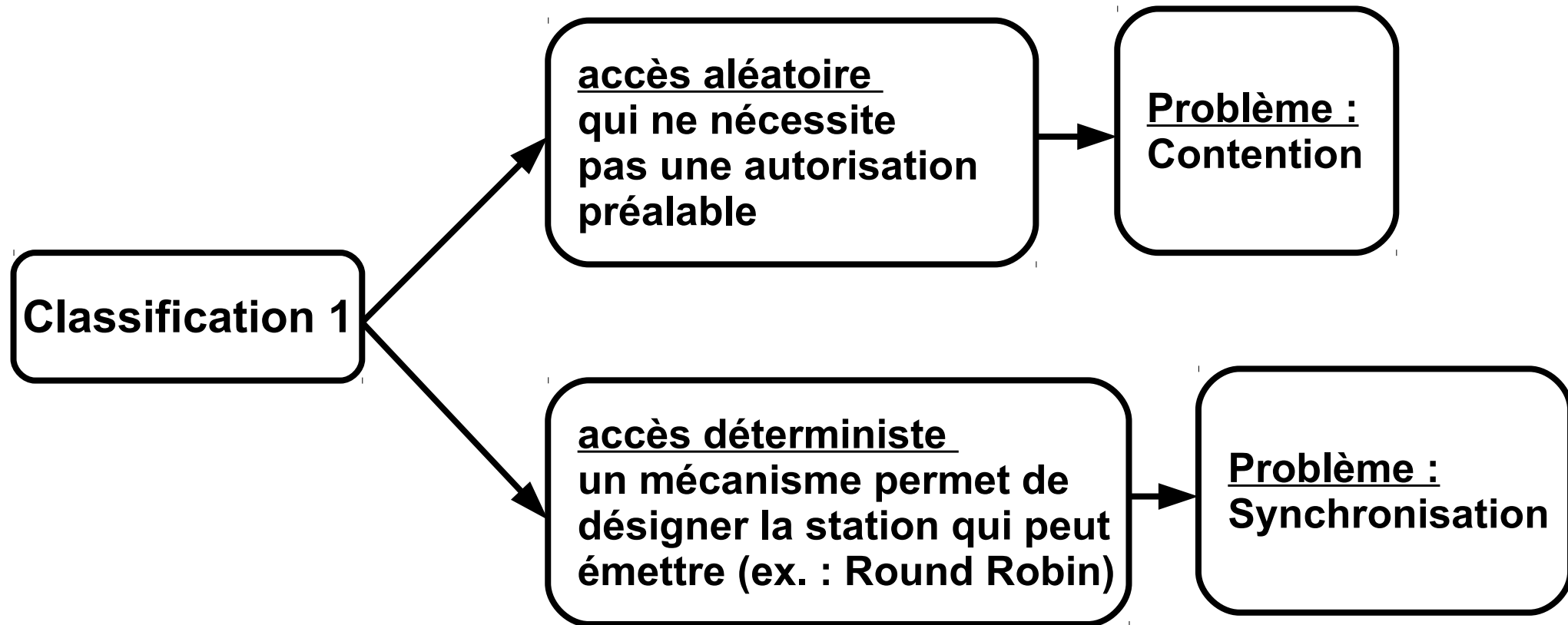
Exemple : Wi-Fi



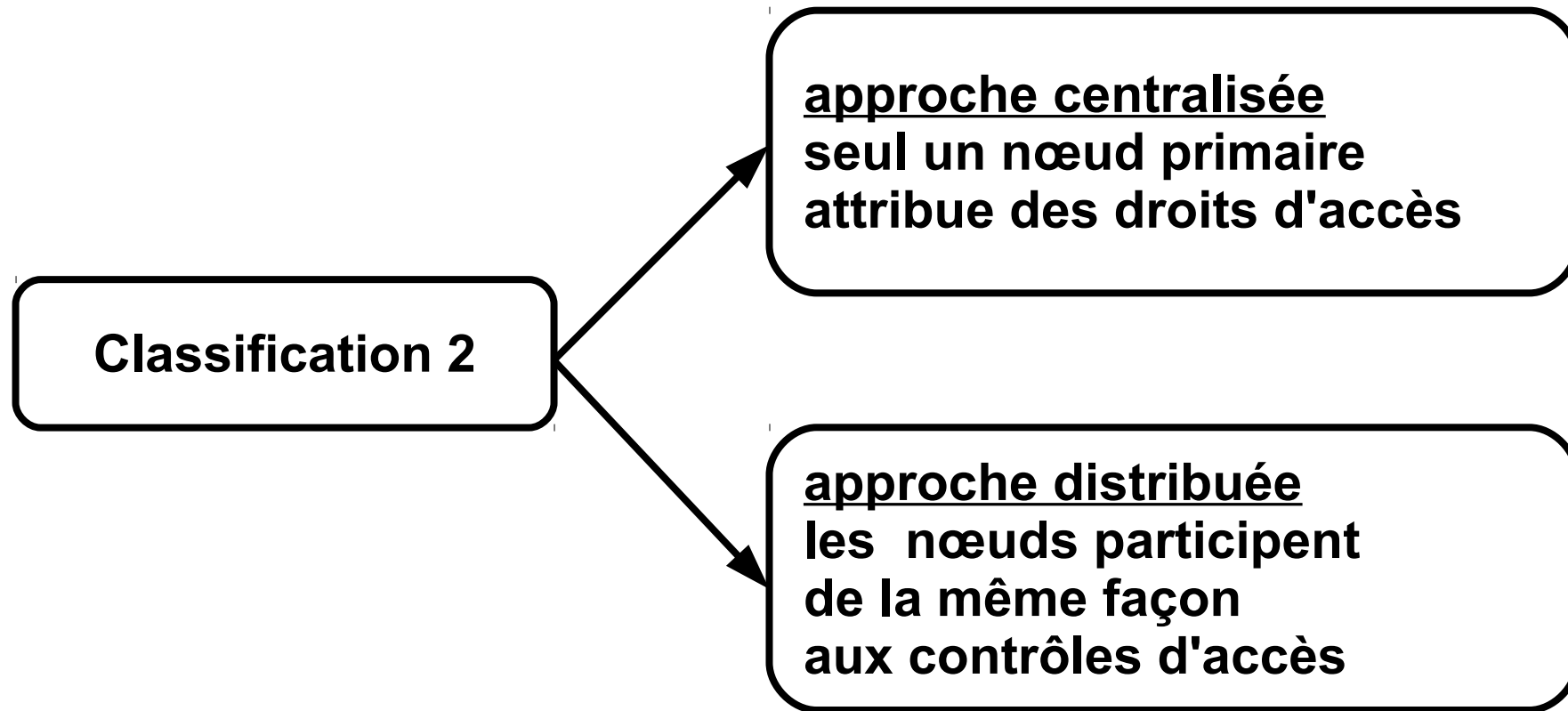
Problématique : Méthode d'accès au canal



Taxonomies des méthodes d'accès au canal

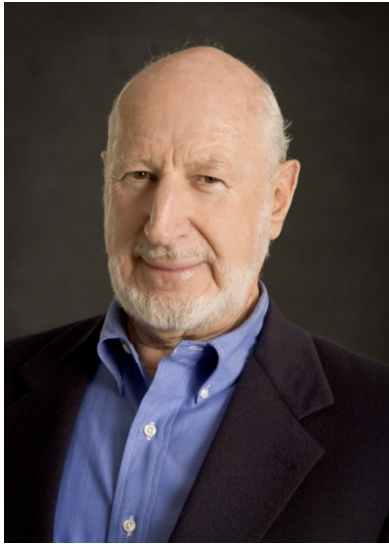


Taxonomies des méthodes d'accès au canal



Protocoles ALOHA

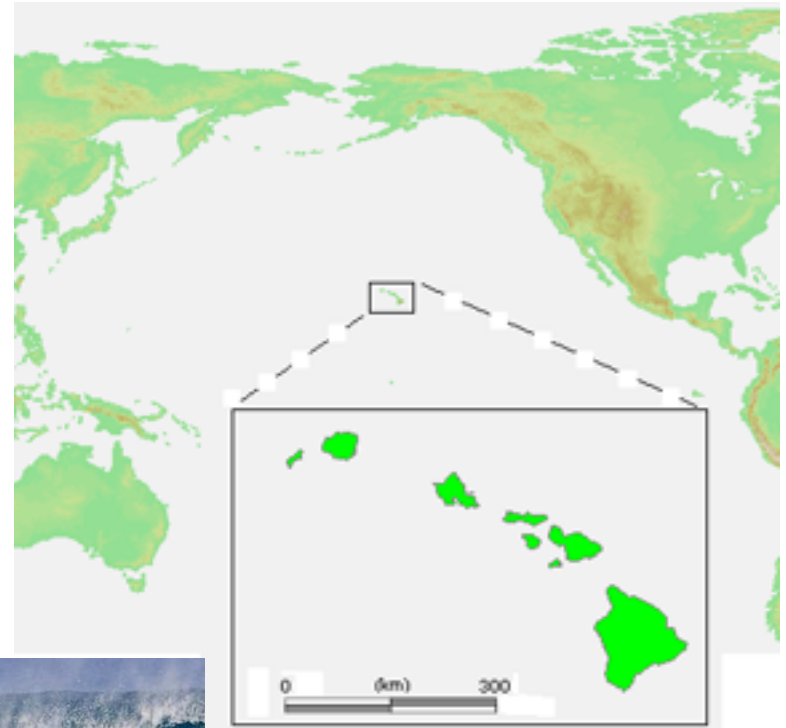
Genèse: Aloha



Norman Abramson
1932 -

American Jewish
computer scientist

**Objectif : créer un réseau
pour la réservation des
chambres d'hôtels dans
l'archipel d'Hawaï**



Genèse: Aloha

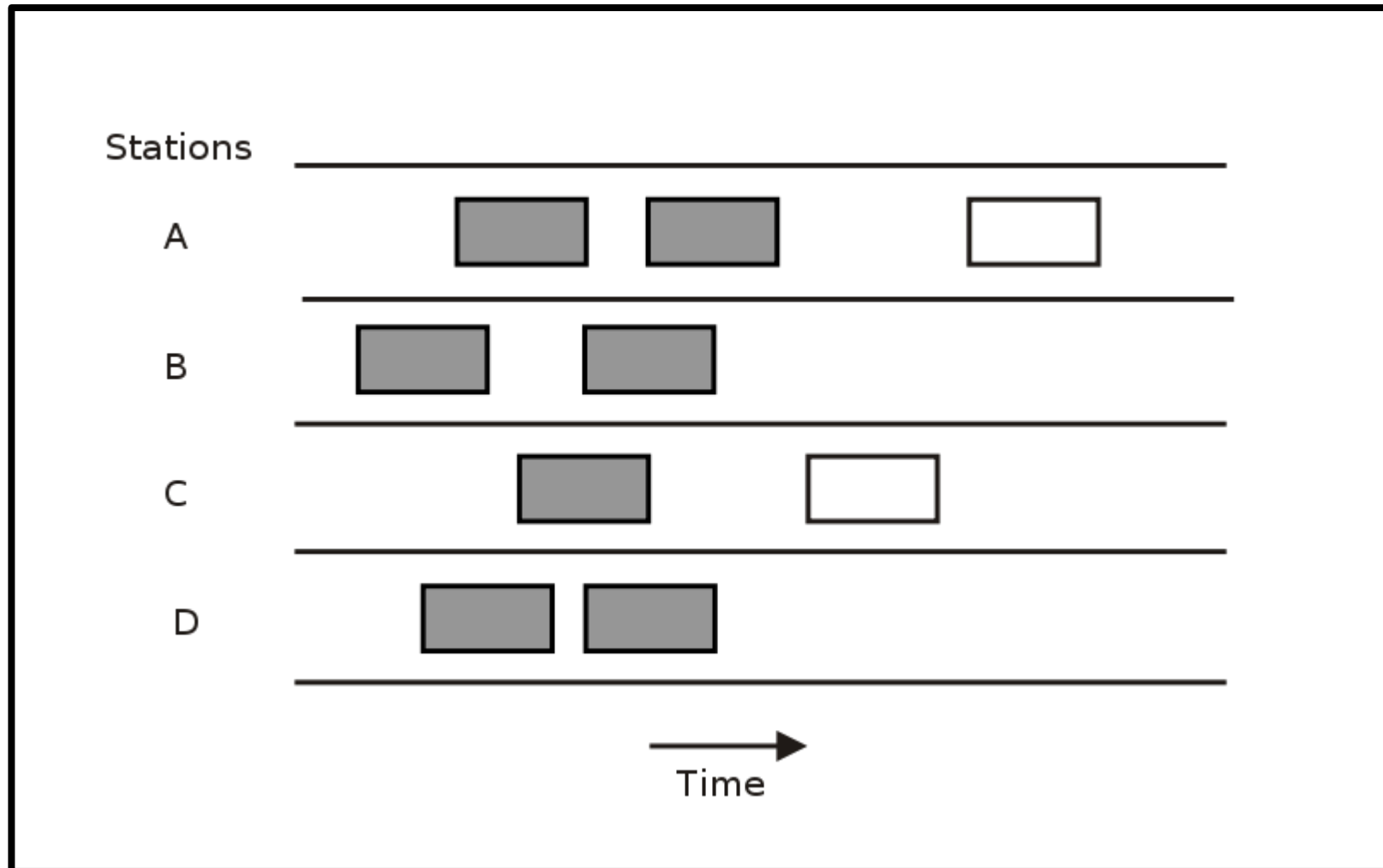
Pour pallier l'absence de lignes de transmissions, l'idée fut d'utiliser les ondes radiofréquences.

- Au lieu d'attribuer une fréquence à chaque transmission comme on le faisait avec les technologies de l'époque, **tout le monde utiliserait la même fréquence.**
- **Un seul support et une seule fréquence allaient donner des collisions entre paquets de données.**
 - Le but était de mettre au point des protocoles permettant de résoudre les **collisions qui se comportent comme des perturbations analogues à des parasites.**

Genèse: Aloha

- **Principe de base : laisser les utilisateurs transmettre en toute liberté ce qu'ils ont à transmettre**
 - Tous les nœuds communiquent à travers une liaison multipoint
 - Lorsqu'un nœud a un message à émettre, il transmet le message
 - Les émissions de deux ou plusieurs messages risquent de se superposer. **On dit alors qu'il y a eu collision entre ces messages**
 - Mécanisme d'acquiescement et de temps d'attente pour détecter la collision
 - Le signal résultant sur le support est non interprétable et les messages en collision sont perdus. Ils doivent **par la suite** être retransmis

Genèse: Aloha



Genèse: Aloha

- Réf : Norman Abramson. 1970. THE ALOHA SYSTEM: another alternative for computer communications. In Proceedings of the November 17-19, 1970, fall joint computer conference (AFIPS '70 (Fall)). ACM, New York, NY, USA, 281-285. DOI: <https://doi.org/10.1145/1478462.1478502>

Évaluation d'Aloha

- **Efficacité du canal** : *Quel est le pourcentage de trames qui parviennent à échapper aux collisions ?*
- **Hypothèses**
 - Nombre infinies des utilisateurs
 - Toute trame envoyée quand le support n'est pas utilisé par une autre station est considérée comme transmise
 - Dans tous les autres cas, la trame est considérée comme brouillée et non reçue par les autres stations.
 - Trames générées suivent le **processus de Poisson**

Rappel : variable aléatoire

- Une variable aléatoire est une fonction qui associe un nombre réel x à la réalisation d'un événement aléatoire
- Ainsi, la taille de la première personne qui rentrera en classe est une variable aléatoire, tout comme la durée d'une communication téléphonique qui s'établit.

Rappel : loi de Poisson de paramètre λ

Soit X une variable aléatoire qui peut prendre les valeurs $\{0,1,2,\dots,k,\dots\}$ avec une probabilité p_x .

$$P(x=k) = p_k = \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda}$$

c'est la loi de Poisson.

La moyenne : $E[X] = \lambda$.

La variance : $E[x^2] - (E[X])^2 = \lambda$.

- Notons ce résultat remarquable : dans le cas d'une variable obéissant à une loi de Poisson de paramètre λ , sa moyenne et sa variance sont égales, et égales à λ .

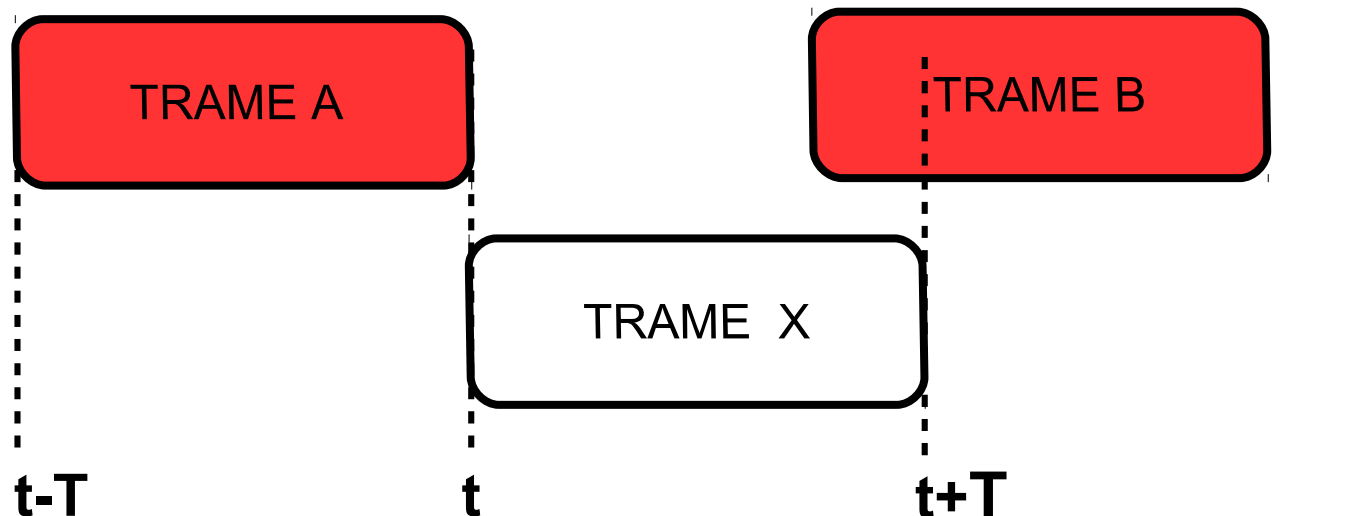
Évaluation d'Aloha

- **T: durée de trame**
 - Temps moyen nécessaire à la transmission d'une trame (taille moyenne / débit)
- **Soit g : le nombre moyen de trames émises par secondes**
- **Comme l'émission des trames respecte une loi de Poisson. La probabilité d'émettre k trames pendant une durée T (notée $P_k(T)$) :**

$$P_k(T) = \frac{(gT)^k}{k!} e^{-gT}$$

Évaluation d'Aloha

Une trame est brouillée si plusieurs autres stations émettent pendant la transmission



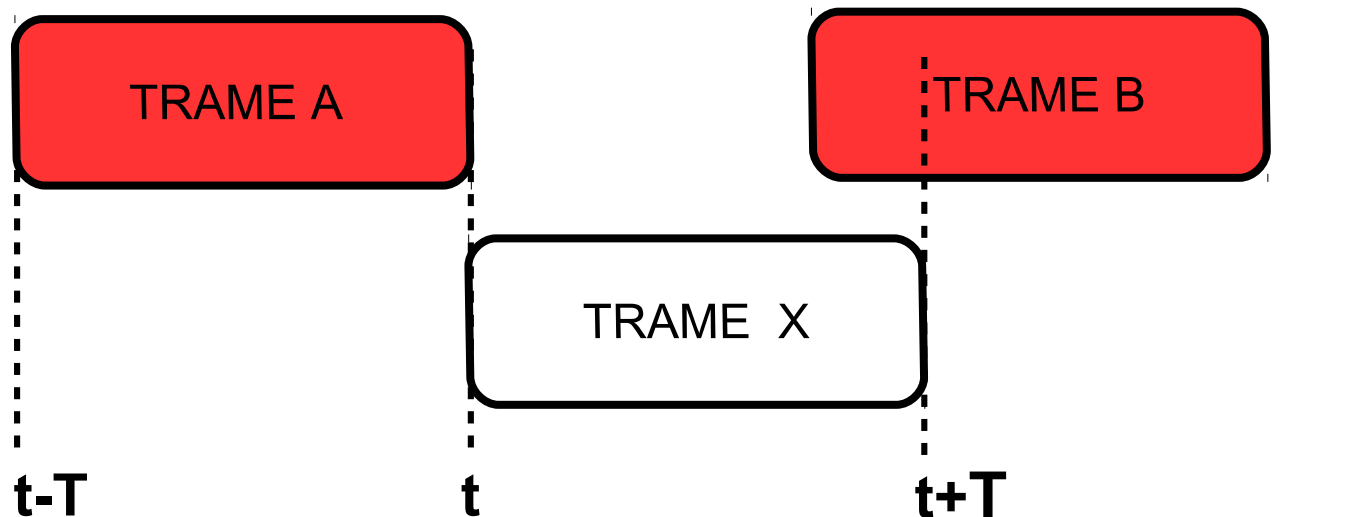
Si une trame est émise à l'instant t , pour qu'il y ait succès, il faut qu'il n'y ait aucune autre transmission pendant la période $[t-T, t+T]$

c'est-à-dire la probabilité qu'il n'y ait aucune transmission pendant une période de $2T$

Évaluation d'Aloha

La probabilité qu'il n'y ait aucune transmission pendant une période de $2T$, d'où

$$P_{succes} = P_0(2T) = e^{-2gT}$$



Évaluation d'Aloha

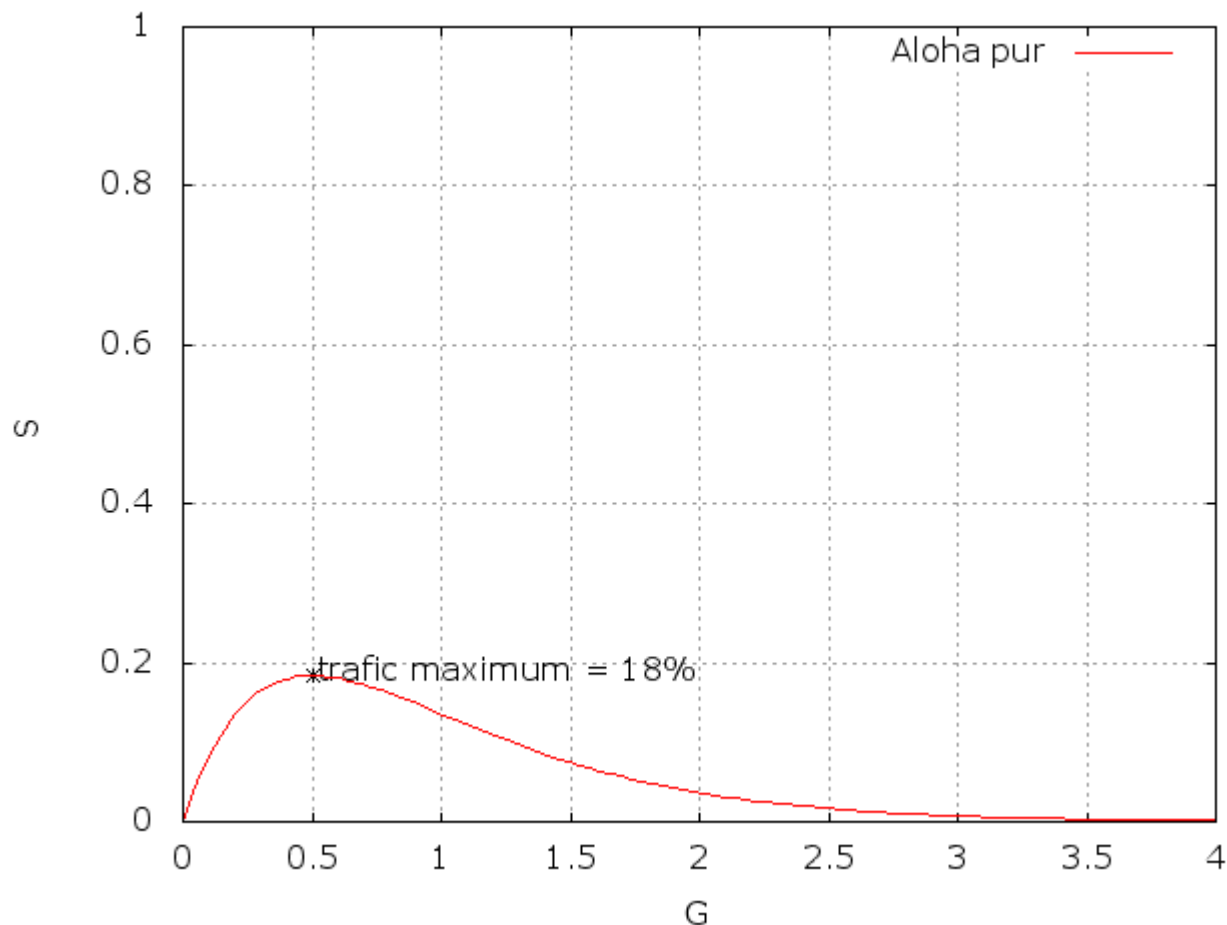
- Soit s : le nombre moyen de trame émises correctement.
- Rappelons que g : le nombre moyen de trames moyen émises par secondes ($g > s$)
- La probabilité de succès P_{succes} peut également s'exprimer par $P_{\text{succes}} = s/g$

Évaluation d'Aloha

- Si nous normalisons les durée on obtient :
 - $S = s.T$: le nombre moyen de trame émise correctement par durée de trame
 - et $G = g.T$: le nombre moyen de trame émise par durée de trame
 - À l'évidence $G > S$
- On obtient $S/G = e^{-2G} \rightarrow S = G \times P_{\text{succes}}$

Évaluation d'Aloha

- La relation entre le trafic effectivement écoulé S et la charge global des stations G s'exprime par la formule : $S = G \times e^{-2G}$



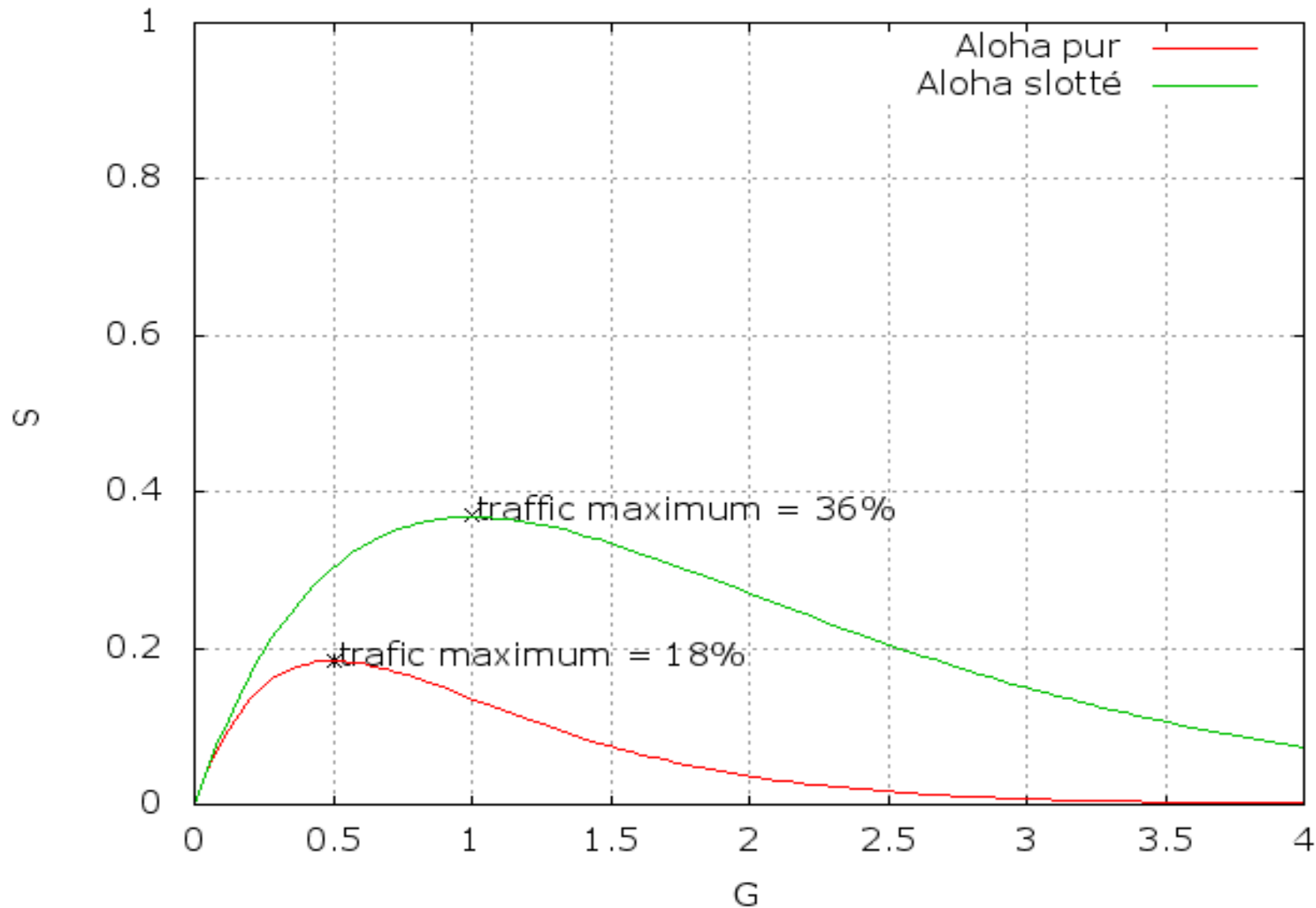
Évaluation d'Aloha

- **La relation entre la charge globale des stations (G) et le trafic effectivement écoulé (S) :**
 - **Le trafic maximum est obtenu pour $G = 0.5$ avec $S = 1/(2e) = 1.84$**
 - **Le mieux que l'on puisse espérer correspond à une occupation du canal de l'ordre de 18 %**

Alhoa Slotté ou discrétisé

- **Améliorations apportées à l'Aloha:**
 - On divise le temps en intervalle répétitifs (les slots) de durée constante = durée de la trame T
 - Les utilisateurs doivent synchroniser leurs horloges !
 - Les stations doivent attendre le début du prochain slot avant de pouvoir transmettre
 - La période de vulnérabilité est réduite de $2T$ à T
- **$S = G \times e^{-G}$**

Aloha Slotté ou discrétisé

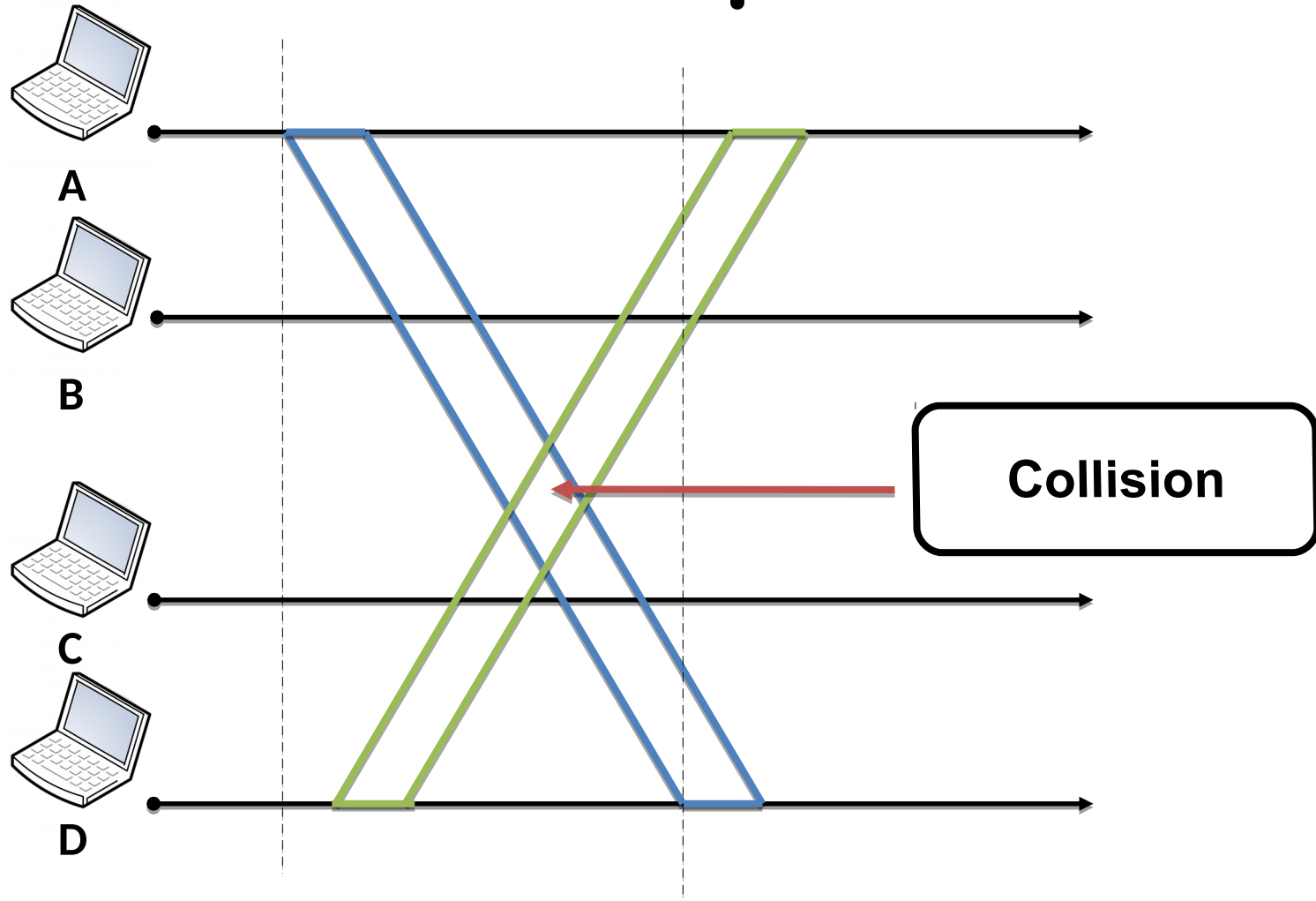


Protocoles CSMA

CSMA

- **CSMA : Carrier Sense Multiple Access → Accès multiple avec écoute de la porteuse.**
- **La station écoute le support physique pour déterminer si une autre station transmet une trame de données (niveau déterminé de tension électrique ou de lumière).**
 - **Si tel n'est pas le cas (donc s'il n'y a pas eu de signal), elle suppose qu'elle peut émettre.**
- **Ceci n'élimine pas la possibilité de collision étant donné le délai de propagation**
- **On définit la période de vulnérabilité comme étant le temps de propagation d'un signal entre les nœuds les plus éloignés**
 - **Durant cette période une carte réseau peut ne pas détecter l'émission d'un signal par un autre nœud.**

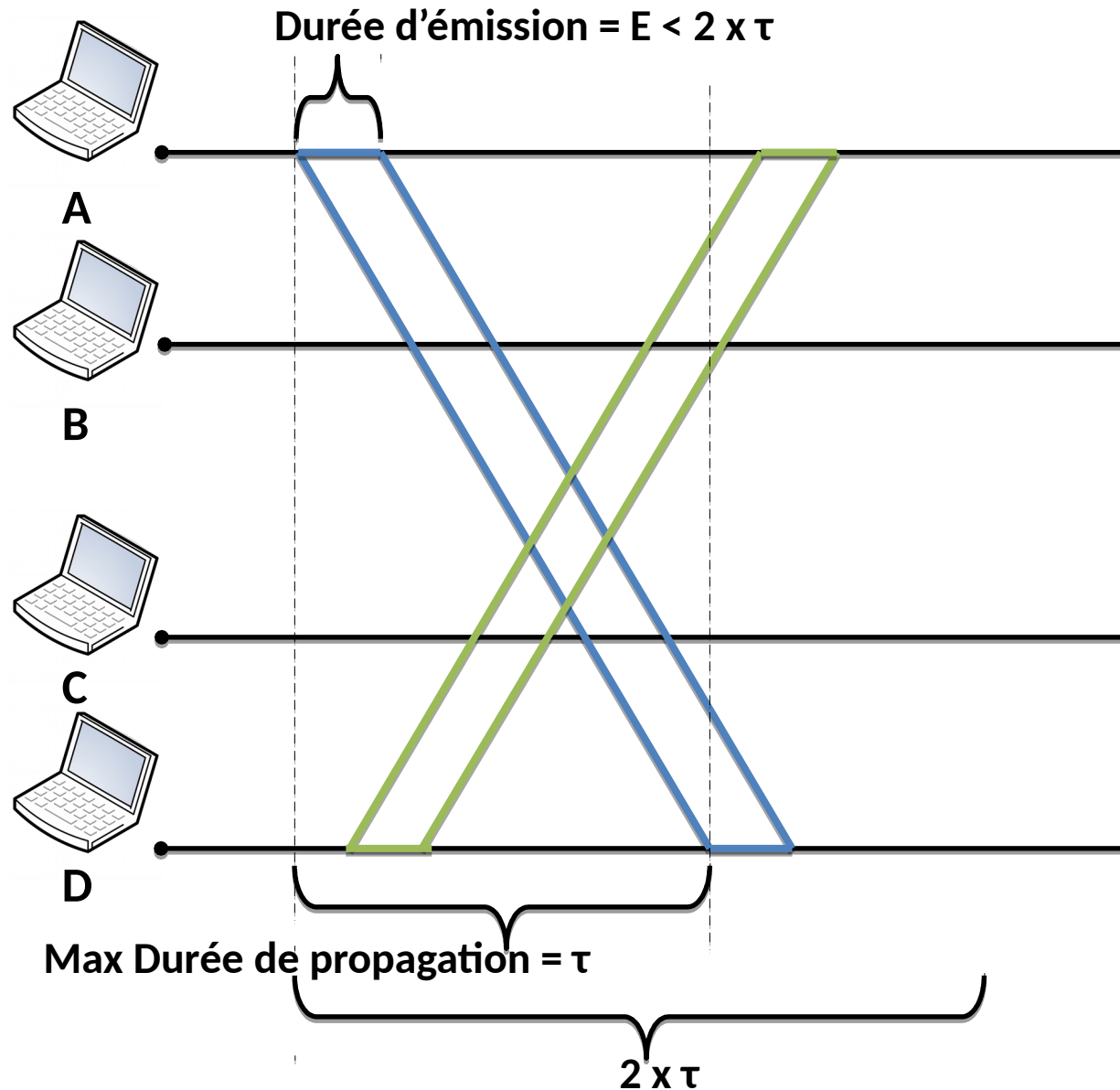
CSMA : cas des petites trames



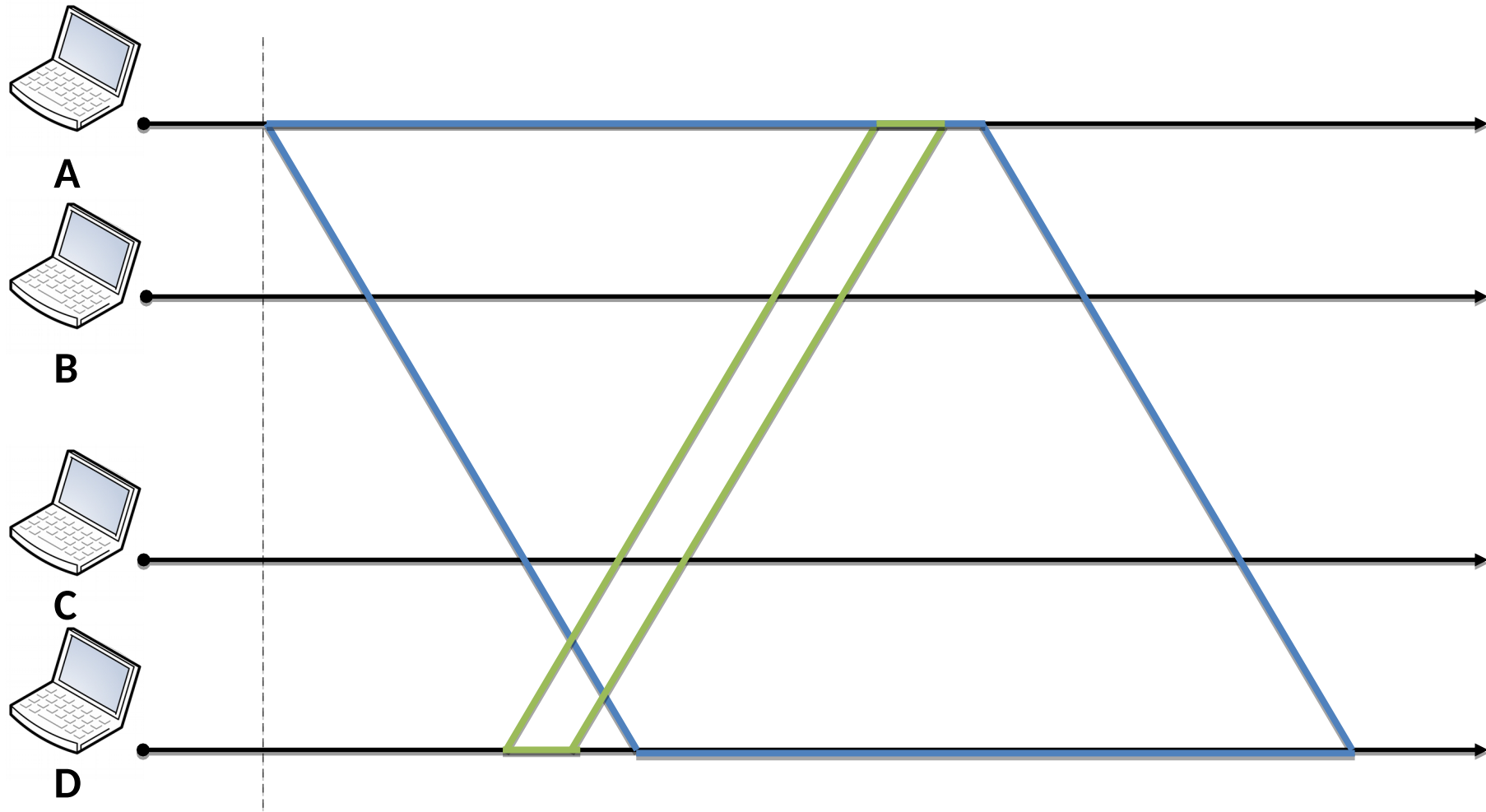
CSMA : cas des petites trames

- **Dans cet exemple, la station A a émis correctement son message**
 - C le reçoit correctement
 - Par contre, ni D ni B ne le recevront à cause de la collision
- **De même pour le message de B**
 - Il est reçu par D
 - mais pas par C ou A
- **En agrandissant artificiellement la taille de la trame, pour que la durée d'émission soit supérieure à deux fois le délais de propagation, ce phénomène ne peut pas se produire**

CSMA : cas des petites trames



CSMA : cas des petites trames



Dans cet exemple, la durée minimale d'émission est supérieur à 2 fois le délais de propagation

CSMA : cas des petites trames

- **Il faut que TOUTES les stations soient dans le même état**
- **La durée d'émission doit être d'au moins 2 fois la durée de propagation du signal**
- **Si la trame est trop courte, il faut ajouter des bits de bourrage**
- **La topologie doit être limitée pour éviter des durées de propagation qui forceraient à allonger la longueur des trames**

CSMA

- **CSMA non persistant :**

- Lorsque le canal est occupé, une carte désirant émettre un message reprend l'écoute du canal après un temps aléatoire (cette procédure est réitérée jusqu'à ce que le canal soit libre).

- **CSMA persistant :**

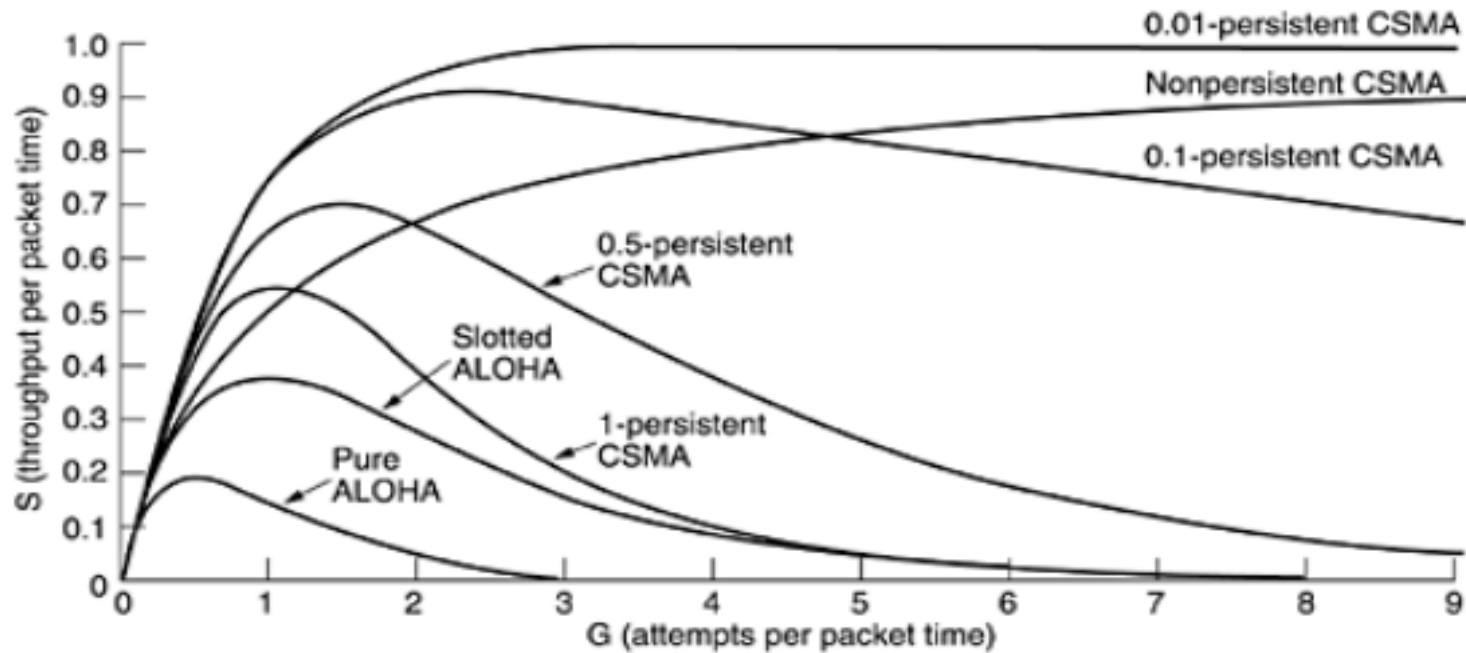
- Lorsque le canal est occupé, une carte désirant émettre un message poursuit l'écoute du canal jusqu'à ce qu'il soit libre et émet ensuite son message.
- Si une collision se produit, les stations attendent un temps aléatoire avant de retransmettre.
- Par rapport à la méthode précédente, cette méthode réduit les temps de non-utilisation du support mais augmente la probabilité de collision.

CSMA

- **CSMA *p-persistent* :**

- Le temps est divisé en intervalles, comme " Aloha discrétisé ".
- Si une carte veut émettre, il écoute pour savoir si le réseau est occupé.
- Elle émet avec une probabilité p si le réseau est libre (sinon il continue à écouter jusqu'à ce qu'il soit libre), et reporte l'émission à un intervalle suivant avec une probabilité $1 - p$.
- Le processus continue jusqu'à ce que la trame soit émise.

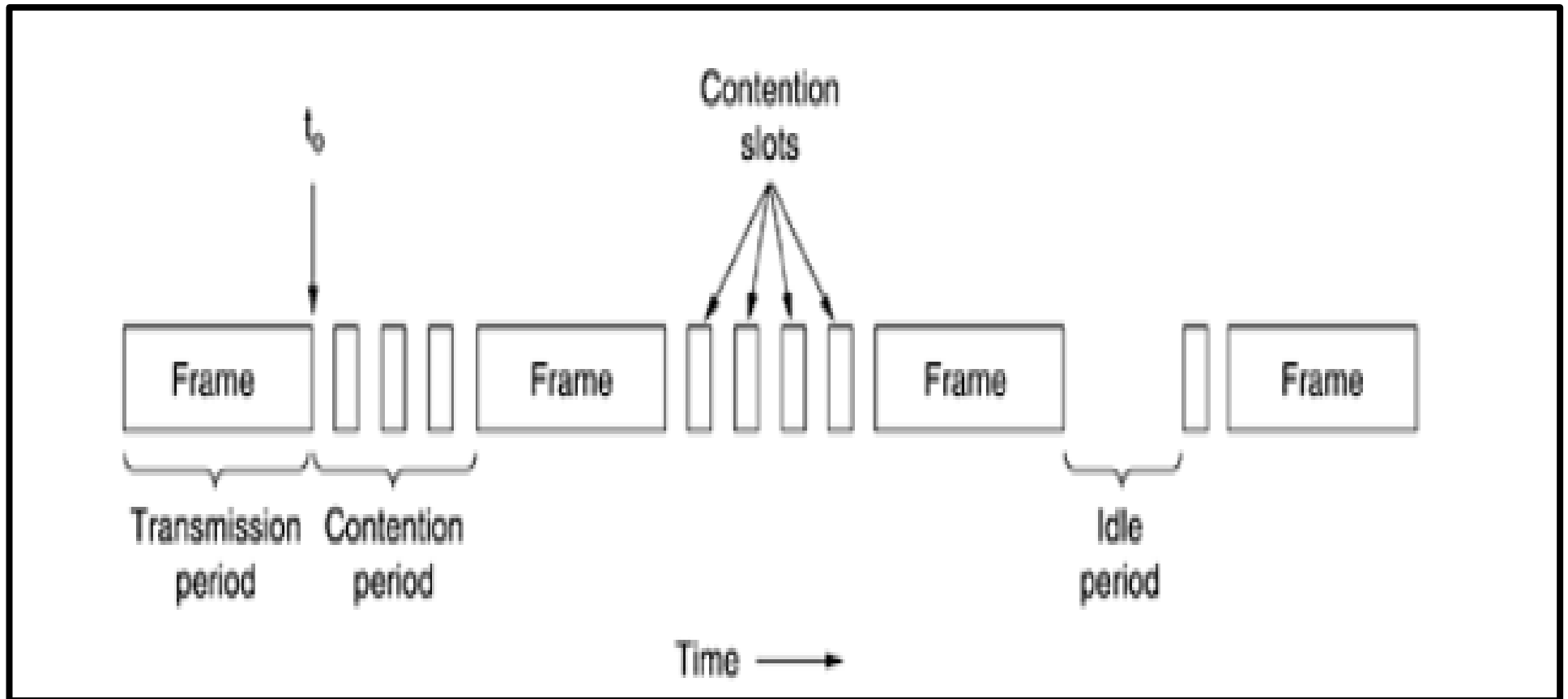
CSMA



CSMA/CD

- **C'est la méthode la plus utilisée**
 - Écoute du canal avant l'émission
 - Écoute pendant l'émission pour déterminer s'il y a eu collision
 - Le signal émis est comparé au signal sur la ligne
- **Si une collision s'est produite**
 - La carte abandonne l'émission et envoie une séquence de bits, appelée séquence de brouillage
 - Objectif: faire persister la collision et assurer que les autres coupleurs se sont rendu compte de la collision
- **L'émission sera reprise après un temps aléatoire**

CSMA/CD



CSMA/CD

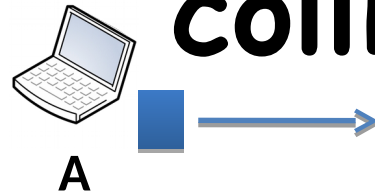
- **Contrairement aux méthodes précédentes l'émetteur s'assure du bon déroulement de l'émission sans attendre un acquittement mais par détection ou non, de collision.**
- **L'avantage est de pouvoir abandonner l'émission dès qu'une collision est détectée et de ne pas attendre d'acquittement.**

Condition de détection de collision

- L'émetteur devra rester à l'écoute du canal pendant une période (tranche canal) au minimum égale à deux fois le temps maximum de propagation d'un signal entre deux cartes réseaux.
- La durée d'une tranche canal (fenêtre de collision) est de 51.2 μ s.
- Au-delà de cette période, l'émetteur est sûr qu'il n'a pas subi de collision et qu'il n'en subira pas

Condition de détection de collision

$t=0$
A commence à émettre



$t = \text{RTT}/2 - \epsilon$
B commence à émettre
B n'a pas encore reçu le 1^{er} bit de A



Comme A ne peut détecter une collision que pendant qu'il émet, il faut qu'il émette encore lorsque le 1^{er} bit de B lui parvient



**Collision
détectée**

CSMA/CD algorithme de retransmission

- Si l'émission suit directement la collision, elle va se reproduire systématiquement
- ***Binary exponential backoff* (BEB)** : mis en œuvre dans chaque station
 - Après une collision, choisir un temps aléatoire d'attente avant d'essayer à nouveau
- **Objectifs**
 - Empêcher les stations ayant participé à la collision de réessayer au même moment
 - Adapter dynamiquement le temps moyen d'attente au nombre de stations

Algorithme du BEB

- **Début : $n = 0$**
- **Lorsqu'une collision a lieu en essayant d'émettre la trame :**
 - Comptabiliser la collision : $n = n + 1$
- **Si $n < 16$, alors :**
 - Attendre $K \times (2 \tau)$ secondes, où K est un entier tiré au hasard de $\{0, 1, \dots, \min(2^n - 1; 2^{10} - 1)\}$
 - Émission de la trame (retour au pas 1 de l'algorithme CSMA/CD)
- **Sinon :**
 - Informer la couche supérieure de l'échec
- **Abandonner (fin)**

Exercices : Évaluation du BEB

Question I :

Après avoir détecté une collision, une station émettrice doit attendre un délai aléatoire avant de retransmettre la trame. Le délai aléatoire est calculé selon la méthode BEB « Binary Exponential Backoff ». Supposons qu'une trame subisse 15 collisions consécutives et qu'elle soit transmise avec succès lors de la 16^{ème} tentative.

Combien de temps en moyenne la station a-t-elle dû attendre à cause des retards qu'impose la méthode BEB ?

Rappel: la durée d'une tranche canal (fenêtre de collision) est de $51.2 \mu\text{s}$

Exercices : Évaluation du BEB

- Correction Question I

$$0 < r < 2^m - 1$$

$$m = \min(n, 10)$$

n	r _{max}
1	1
2	3
3	7
4	15
5	31
6	63
7	127
8	255
9	511
10	1023
11	1023
12	1023
13	1023
14	1023
15	1023
Total	7151

La moyenne c'est :
 $0 + \text{MAX}/2 = 183 \mu s$

Exercices : Évaluation du BEB

Question II :

On considère un réseau local de type IEEE 802.3 sur lequel deux stations A et B ont chacune une unique trame à transmettre. La retransmission en cas de collision est effectuée selon l'algorithme BEB. Toutes les autres stations n'ont aucune trame à transmettre. Les deux stations décident d'envoyer leur trame en même temps ce qui provoque une première collision. On suppose donc, dans tout l'exercice, que la première collision a eu lieu avec une probabilité égale à un.

Quelle est la probabilité pour que ces deux stations (A et B) abandonnent à cause d'un nombre de collisions successives excessif ?

Exercices : Évaluation du BEB

• Correction Question II

$$\frac{1}{2}^1 * \frac{1}{2}^2 * \frac{1}{2}^3 * \dots * \frac{1}{2}^{10} * \frac{1}{2}^{10} * \frac{1}{2}^{10} * \frac{1}{2}^{10} * \frac{1}{2}^{10} * \frac{1}{2}^{10} =$$

$$\frac{1}{2}^{1+2+3+4+5+6+7+8+9+6*10} = \frac{1}{2}^{105}$$

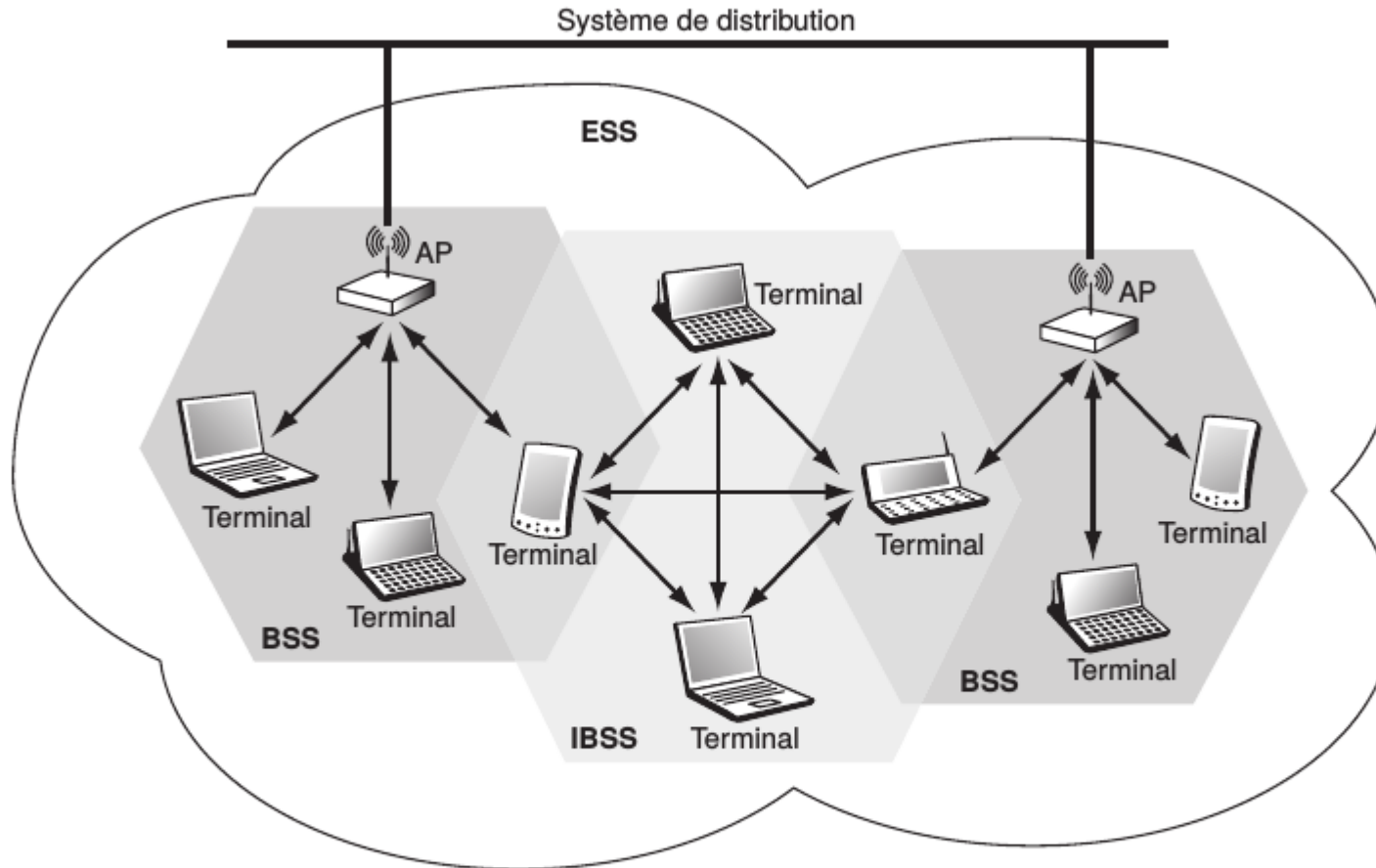
1ère tentative : $\{0,1\} \rightarrow \frac{1}{2} * \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$

2ème tentative : $\{0,1,2,3\} \rightarrow \frac{1}{4} * \frac{1}{4} + \frac{1}{4} * \frac{1}{4} + \frac{1}{4} * \frac{1}{4} + \frac{1}{4} * \frac{1}{4} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2}^2$

3ème tentative : $\{0,1,2,3,4,5,6,7\} \rightarrow \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} + \frac{1}{8} * \frac{1}{8} = \frac{8}{64} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2}^3$

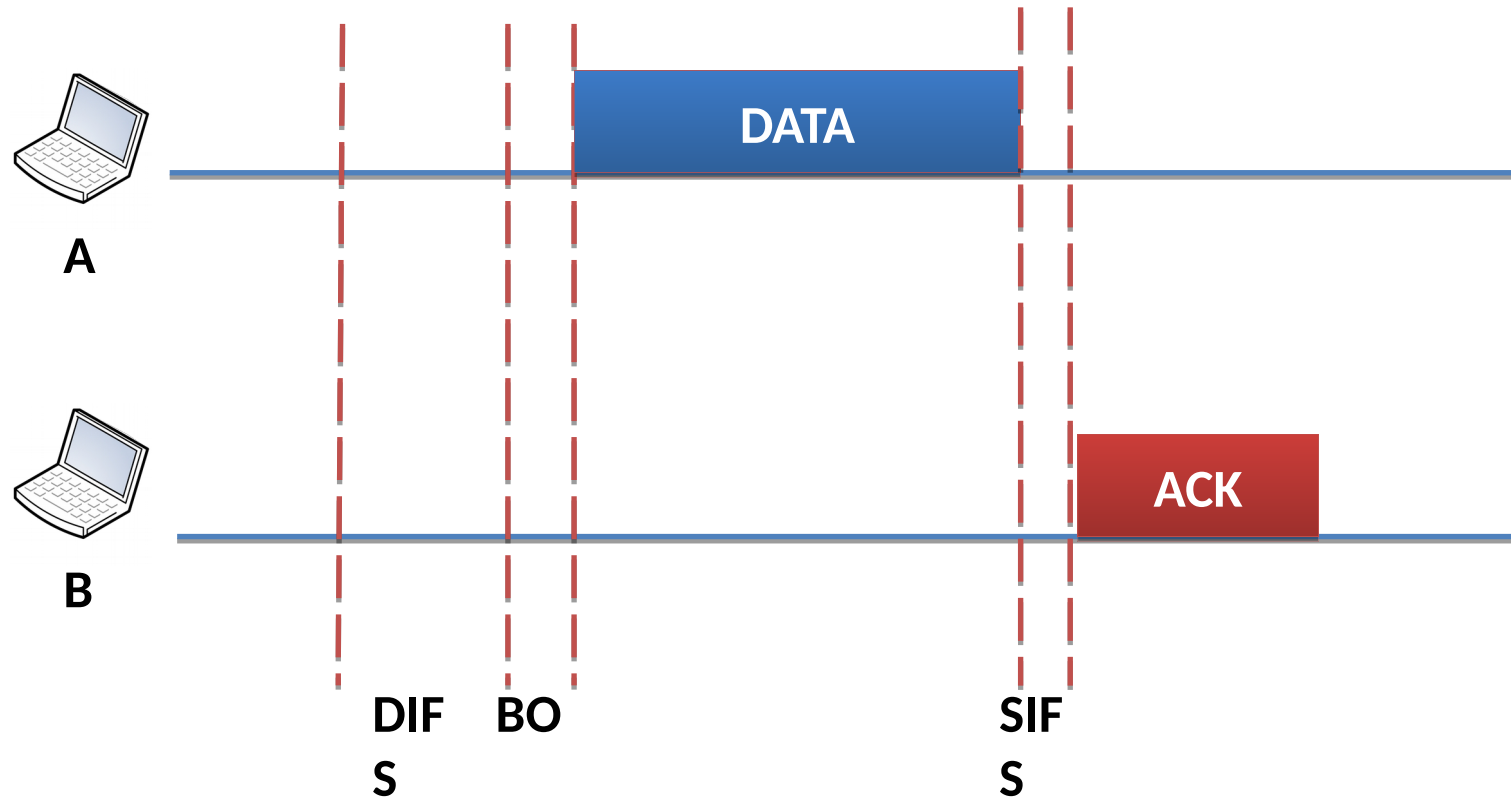
.....

Les réseaux IEEE 802.11



AP (Access Point) : point d'accès
BSS (Basic Set Service) : cellule de base
ESS (Extended Set Service) : ensemble des cellules de base
IBSS (Independent Basic Set Service) : cellule de base en mode ad-hoc

CSMA/CA : sans collision

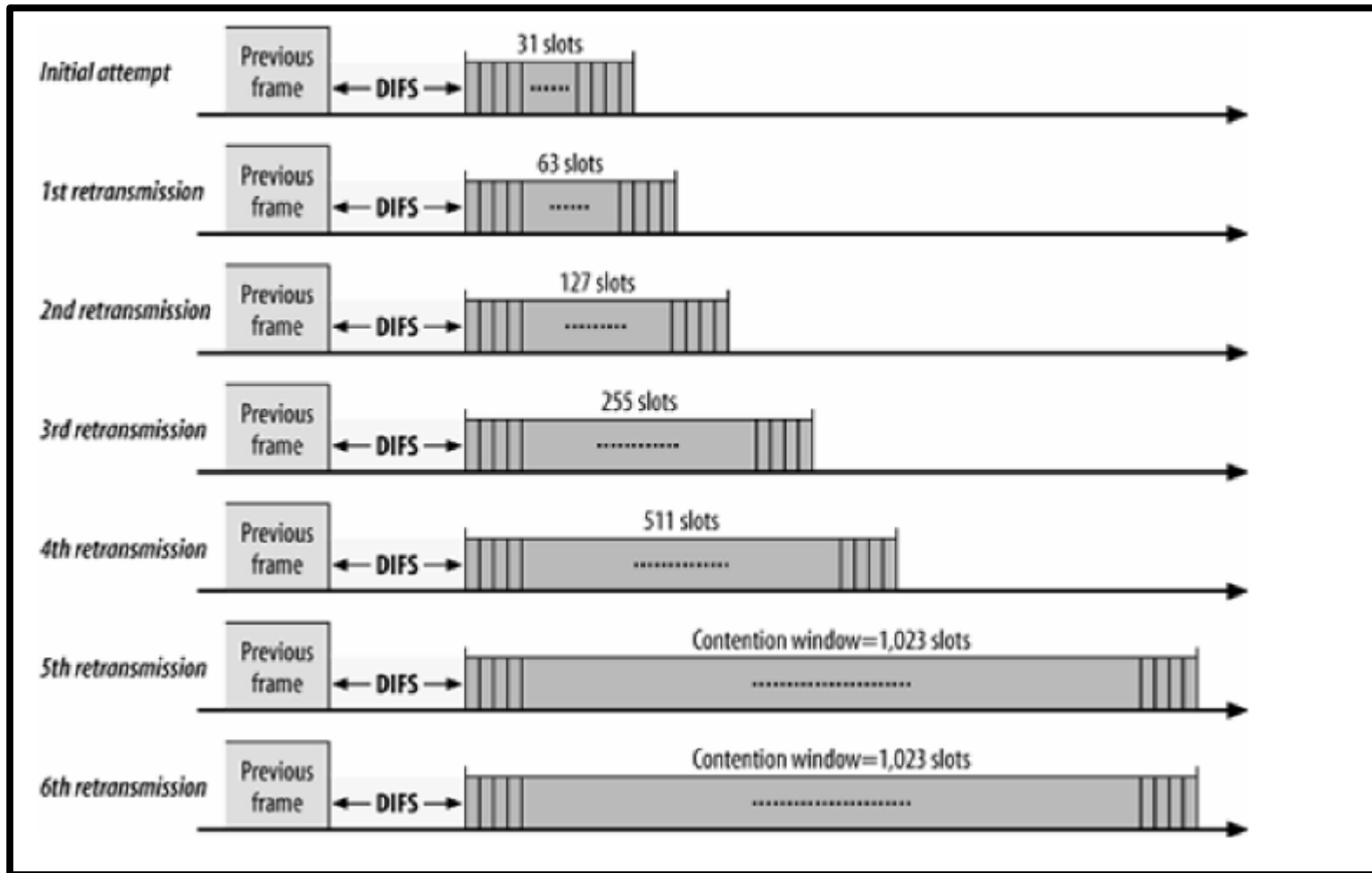


- SIFS(short inter frame space):10 μ s
- Slot Time:20 μ s
- DIFS(distributed inter frame space):50 μ s
 - $DIFS = SIFS + 2 \times \text{slot time}$
- BO: backoff variable
 - CW is in units of slot time / CWmax:1023

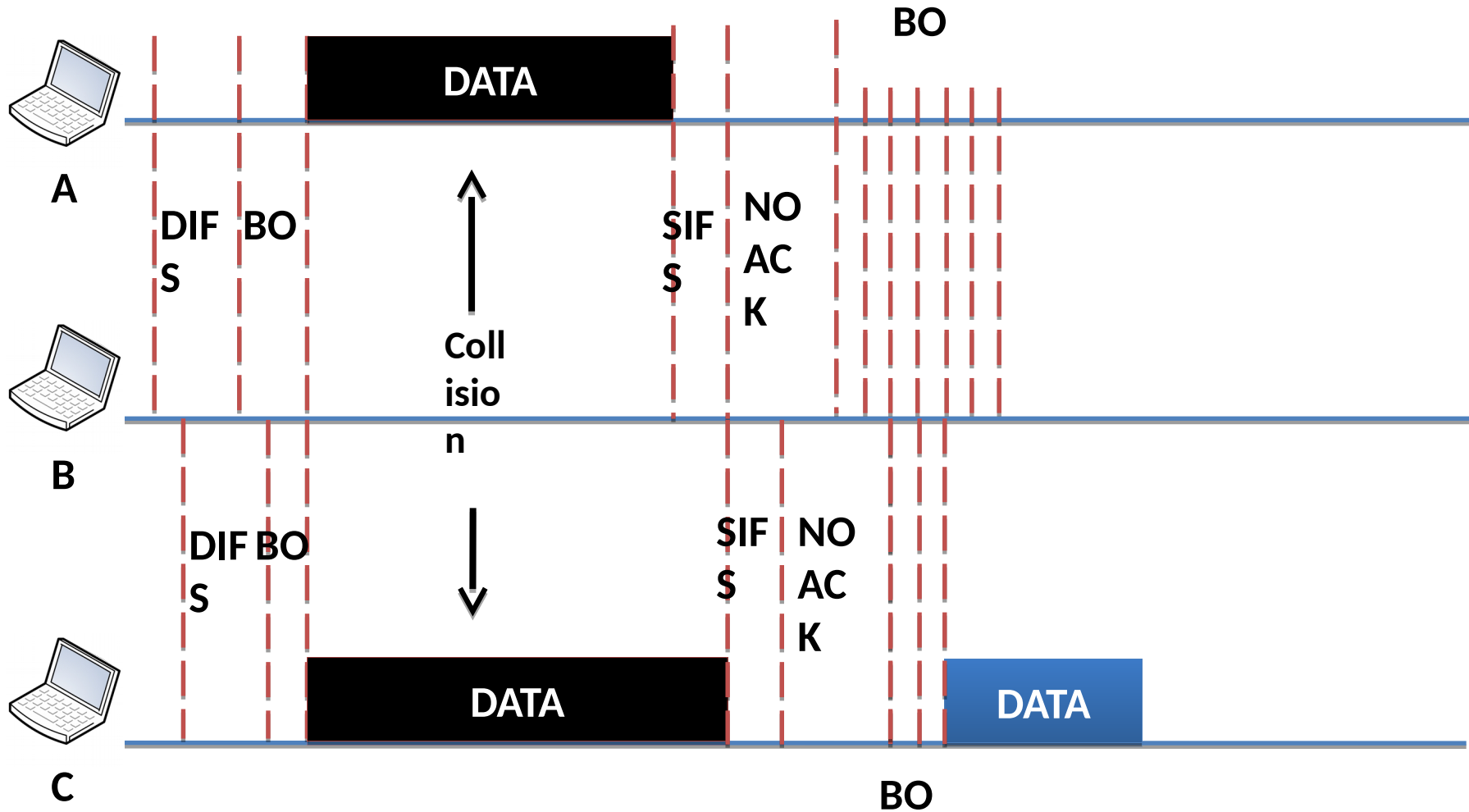
CSMA/CA: procédure du Backoff

- $CW_{\max} \leftarrow 31$
- If (due to timeout)
 - $CW_{\max} \leftarrow CW_{\max} * 2 // CW_{\max} = 1023$
- Else
 - Wait (Channel == *IDLE*)
 - Wait *DIFS*
 - $cw \leftarrow \text{Random}[1, CW_{\max}]$
 - While (Channel == *IDLE*)
 - $cw \leftarrow cw - 1$
 - If ($cw = 0$) Return

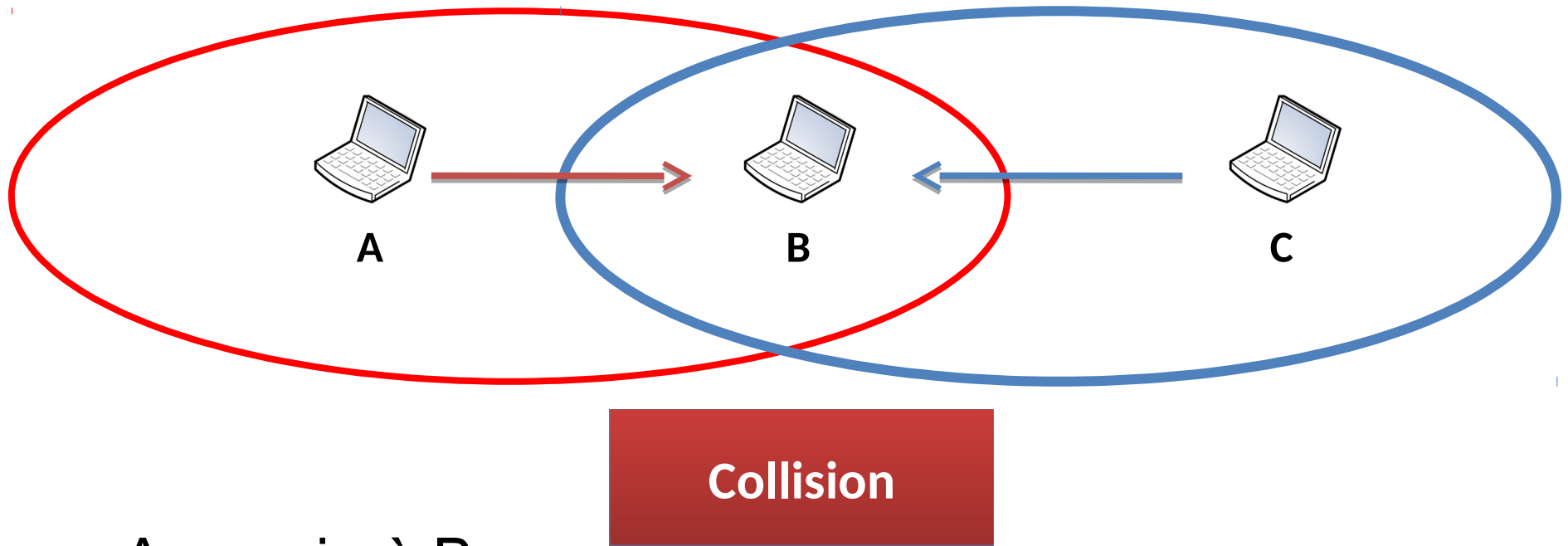
CSMA/CA : fenêtre de contention



CSMA/CA : avec collision



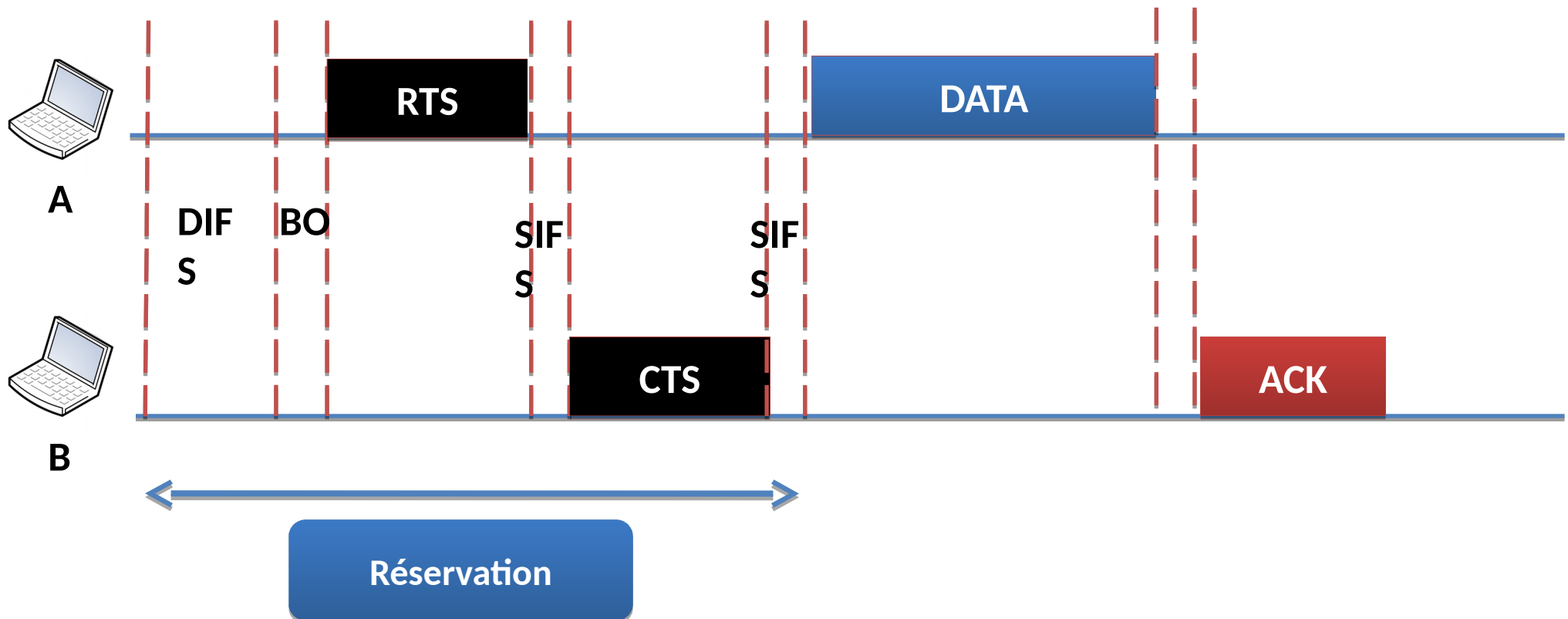
Problème de la station cachée (hidden node)



- A envoie à B
- C envoie à B
- A et C ne « écoutent » pas
- Interférence au niveau de B → Collision

Solution: RTS/CTS

- Mécanisme de réservation
- Avant de transmettre des données, échanger RTS/CTS
 - RTS: Request to Send
 - CTS: Clear to Send



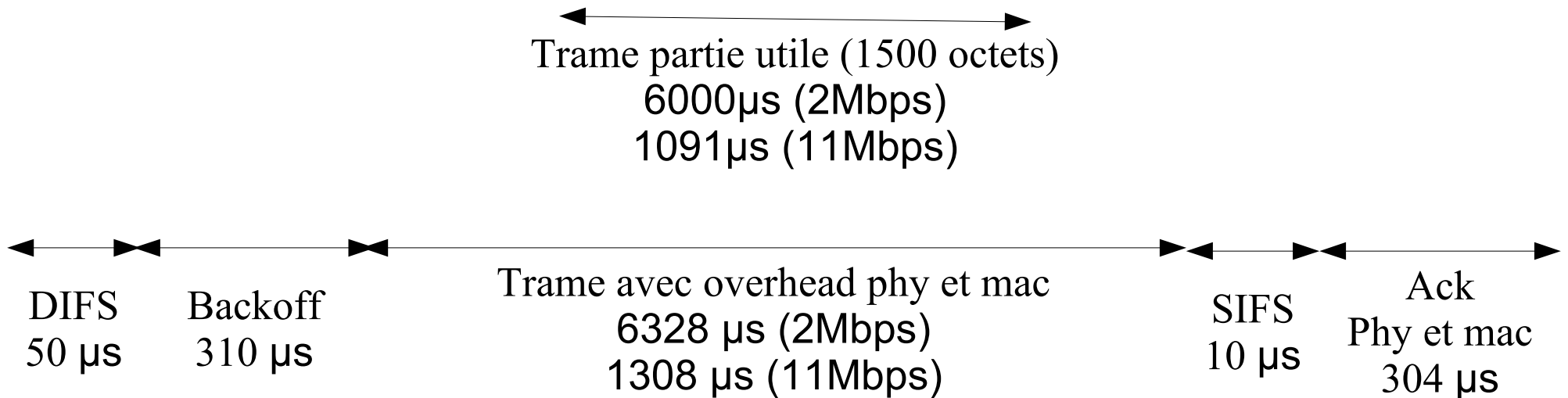
Virtual Carrier Sens

- Inclure l'information « durée de la transmission » dans le RTS/CTS
- Les stations maintiennent un temporisateur égale à cette durée
 - NAV: Network allocation vector
- If $NAV > 0$ ne pas envoyer des trames même si le canal est libre

Débit réel d'IEEE 802.11

- Intertrame pour accès distribué (DIFS) = $50\mu\text{s}$
- Durée moyenne de backoff (tirage de CW entre 0 et 31 slots) = $15.5 * 20\mu\text{s} = 310\mu\text{s}$
- Durée du paquet de 1500 octet de donnée avec 34 octet d'overhead MAC et 192 de synchronisation physique (192bit envoyés à 1 Mbps)
 - à 2Mbps : $(1534 * 8) / 2\text{Mbps} + 192 = 6328\mu\text{s}$
 - À 11Mbps $(1534 * 8) / 11\text{Mbps} + 192 = 1308\mu\text{s}$
- SIFS = $10\mu\text{s}$
- Ack de 14 octets à 1Mbps + synchronisation physique de $192\mu\text{s}$ soit $304\mu\text{s}$

Débit réel d'IEEE 802.11



Durée Utile = 6000 μ s (2Mbps) / 1091 μ s (11Mbps)

Durée Totale = 7001 μ s (2Mbps) / 1937 μ s (11Mbps)

Débit réel d'IEEE 802.11

Débit nominal	Capacité maximale	Débit maximal
2Mbps	0.85	1.7Mbps
11Mbps	0.56	6.19Mbps

The END