

# Ethernet

# La sous-couche MAC

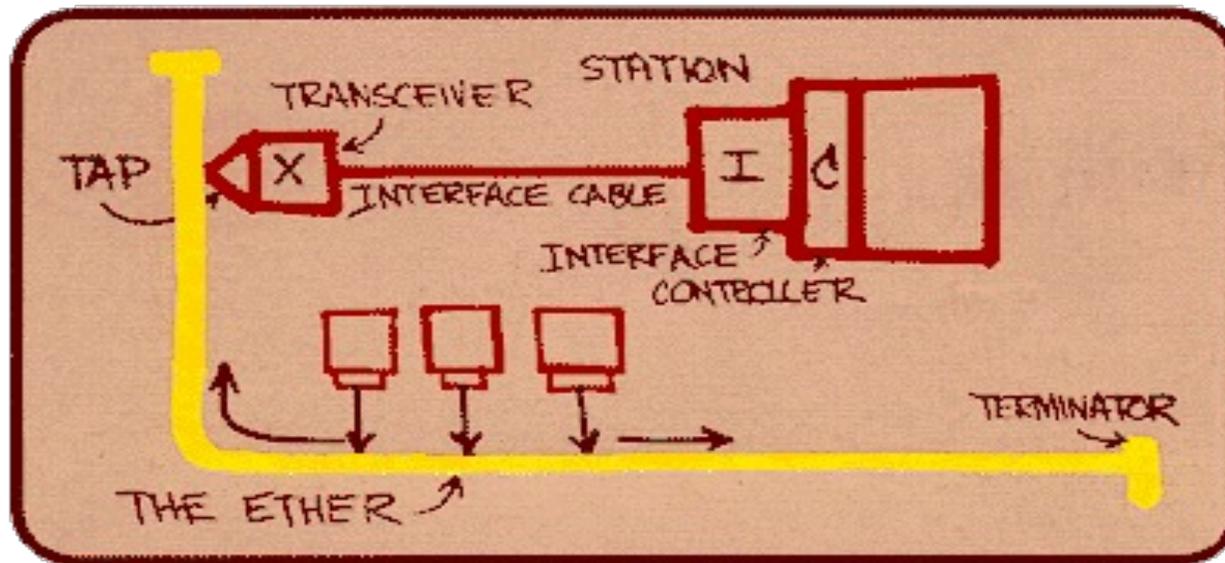
# Les objectifs

- MAC
  - Être à même de donner les fonctions de la couche MAC dans Ethernet
  - Être à même d'expliquer les deux méthodes d'accès (CSMA/CD or Half-Duplex, et Full Duplex)
  - Être à même d'utiliser correctement les termes CSMA/CD, half-duplex, full-duplex
  - Connaître la structure et les différences entre les trames
    - DIX, Ethernet II, Raw 802.3, SNAP
  - Être à même d'expliquer la significations des champs dans les trames Ethernet II et 802.3
  - Être à même d'interpréter correctement la signification des deux bits les LSB de l'octet de plus forte valeur (les bits I/G et L/U, individual/group Local/Uniersal)

# MAC dans Ethernet (Medium Access Control)

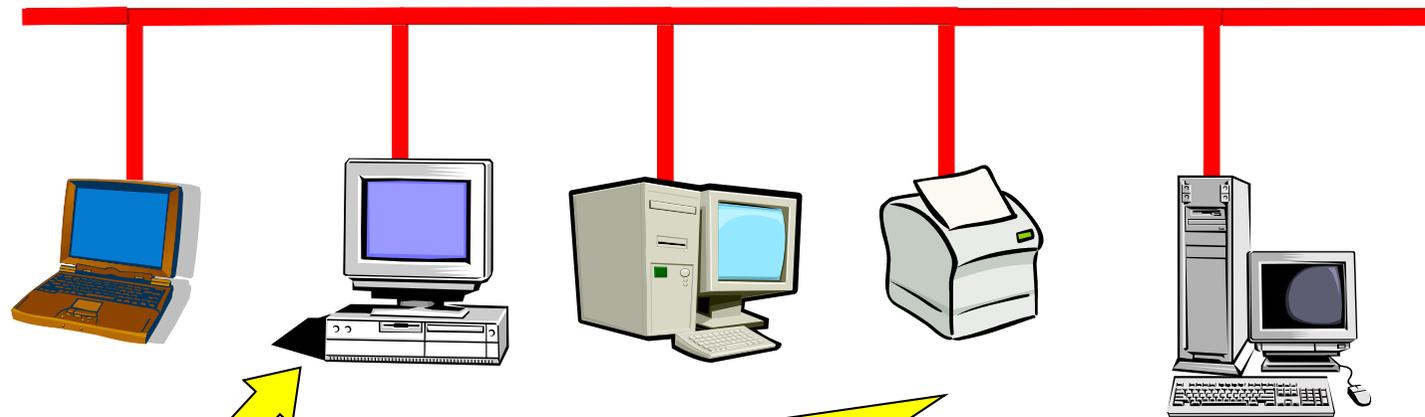
- Structure le flot de bits de la couche 1 en trames
- Contrôle d'accès au médium physique
  - CSMA/CD (half duplex)
  - Full Duplex
- Utilise LLC 1 (sans connexion, sans acquittement)

# Ethernet de Metcalfe



Connexion de toutes les stations à un même câble

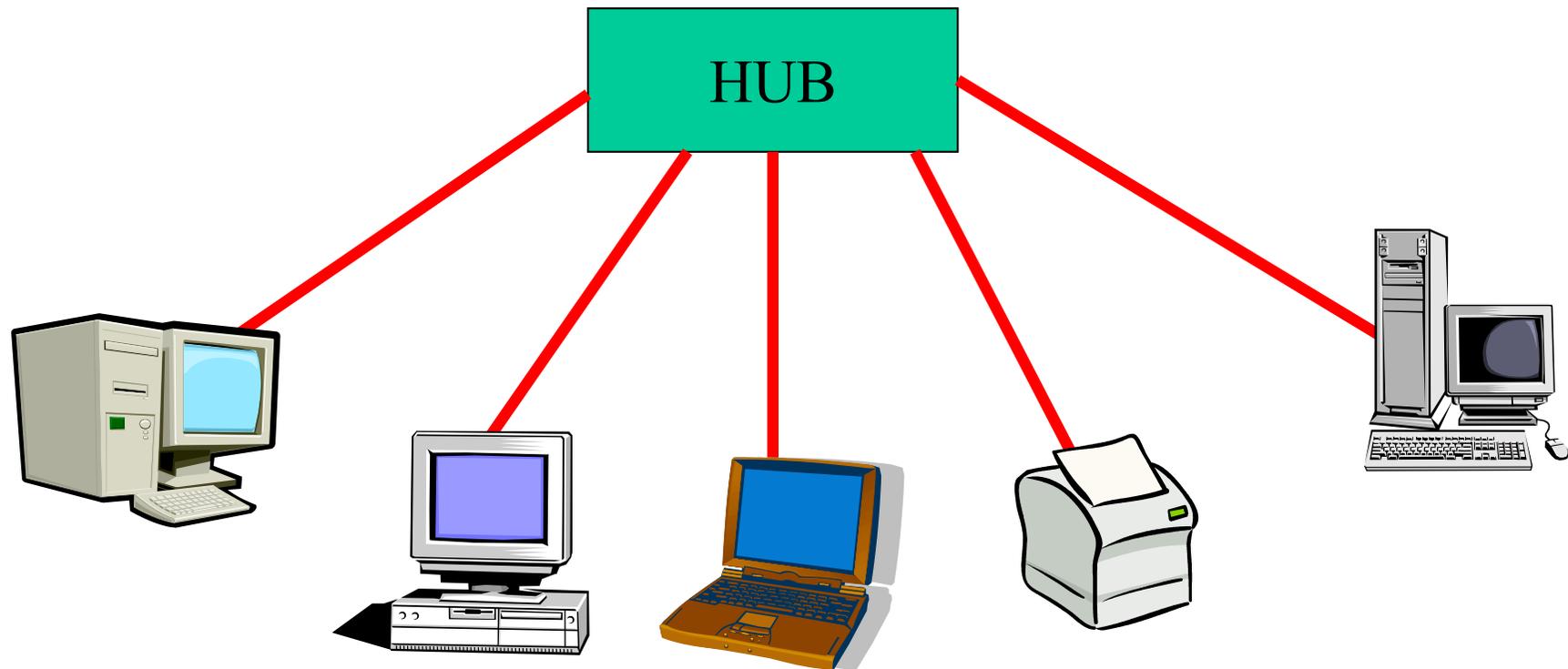
# Topologie en bus



La machine  
transmet vers  
l'imprimante

**Problème: collisions**

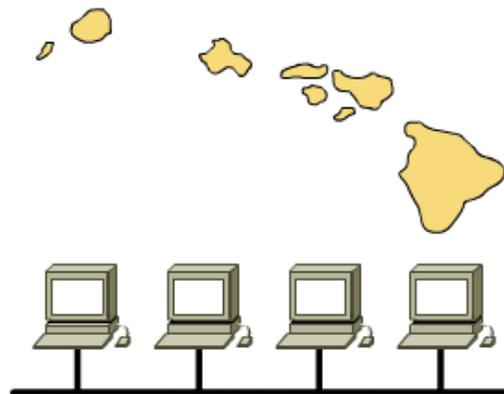
# Topologie en Etoile « Hubée »



**Problème: collisions**

# Méthodes d'accès à un médium partagé

- Premier réseau opérationnel: **ALOHA**
- Développé dans les années 1970 par l'Université de Hawaï
- Permettait la connexion des différentes îles
- Support physique partagé: canal radio

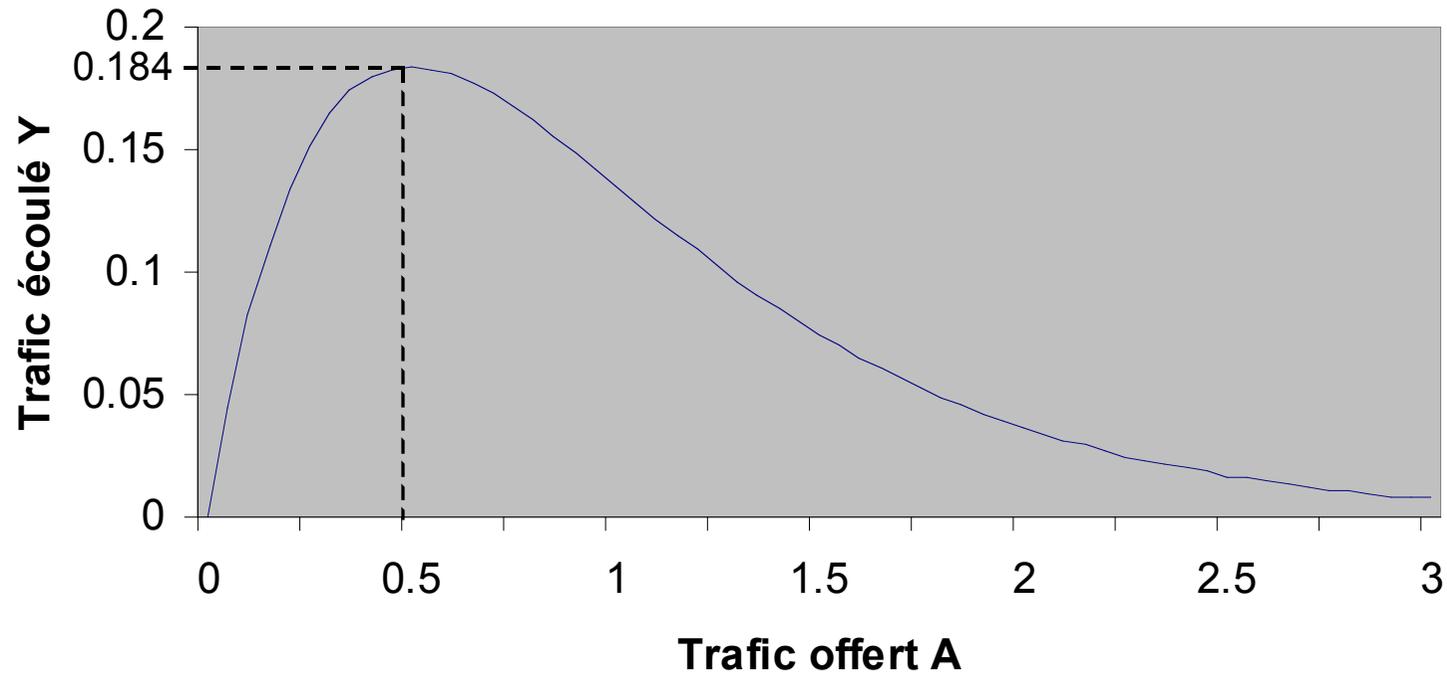


# Protocole ALOHA

- Une station peut envoyer des données à tout moment
- Des collisions de transmission rendent les signaux indéchiffrables
- Une station attend un acquittement pendant un délai déterminé
- Retransmission des données perdues après un certain délai

# Performances

## ALOHA

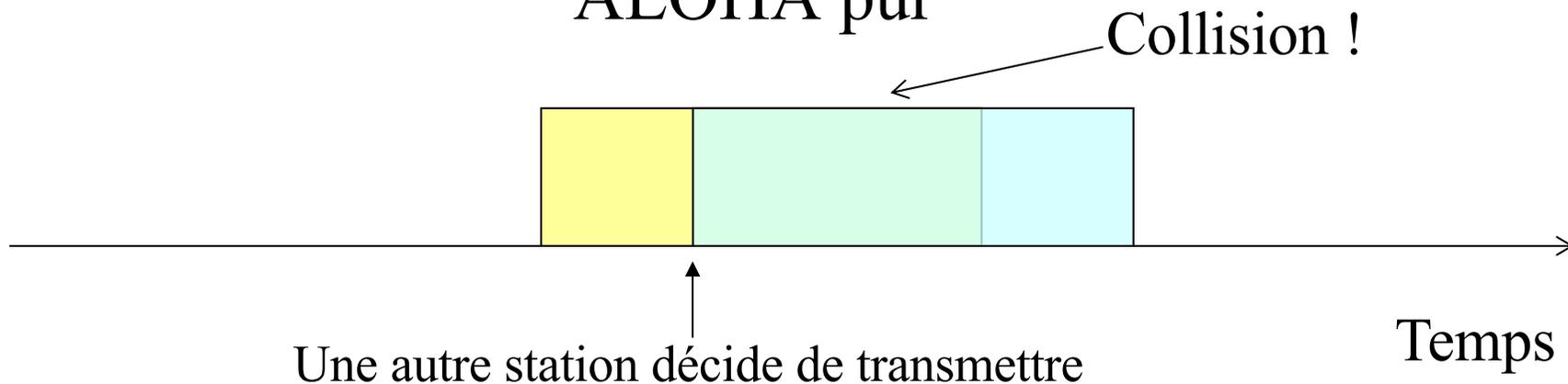


Maximum 18,4 %

# Amélioration: ALOHA discrétisé

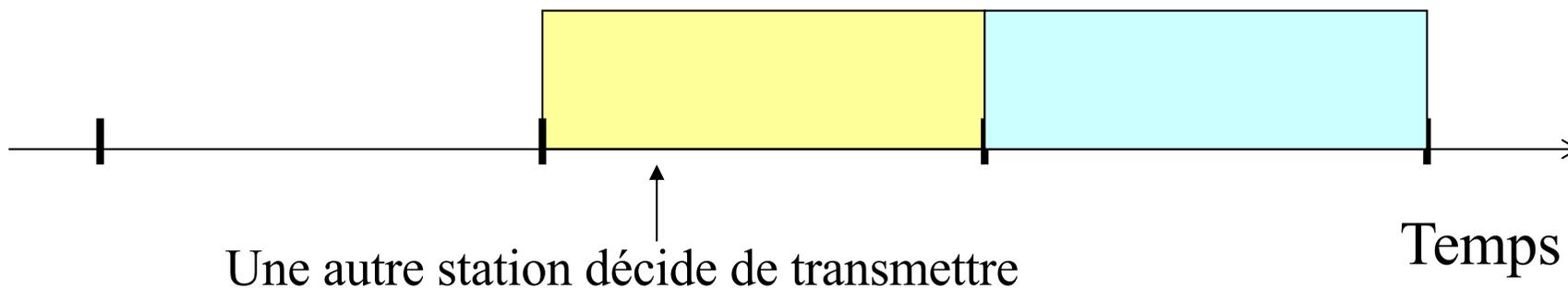
- Division du temps en intervalles répétitifs (*slots*)  
→ *slotted ALOHA*
  - Les slots ont une durée constante: durée d'une trame
- Début d'une émission seulement au début d'un slot
- Nécessite une *synchronisation* entre les stations

## ALOHA pur



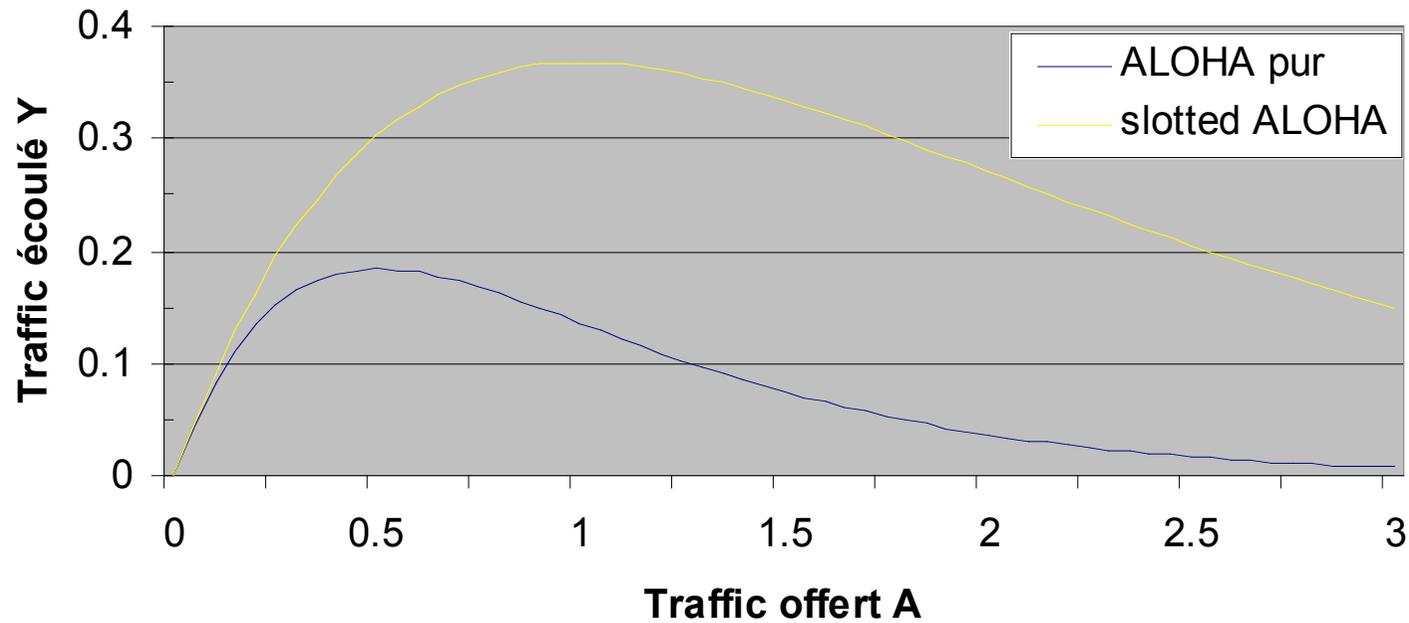
---

## ALOHA discrétisé



# Comparaison avec ALOHA pur

## ALOHA

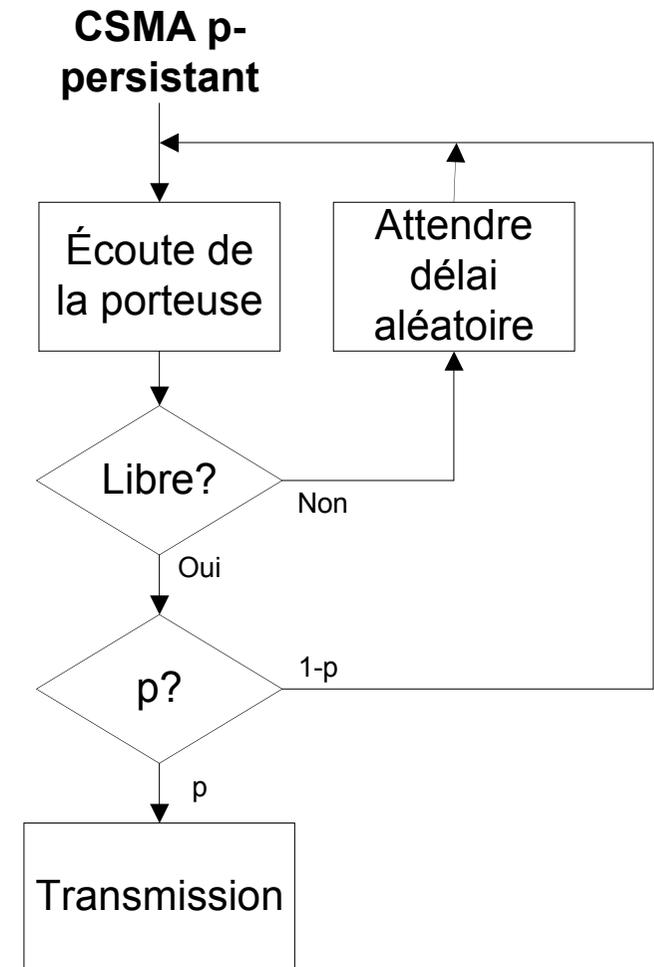
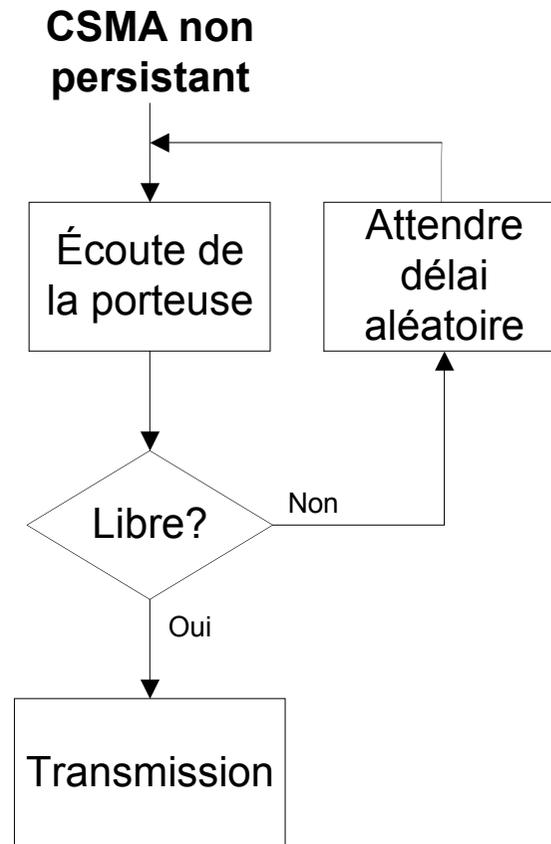
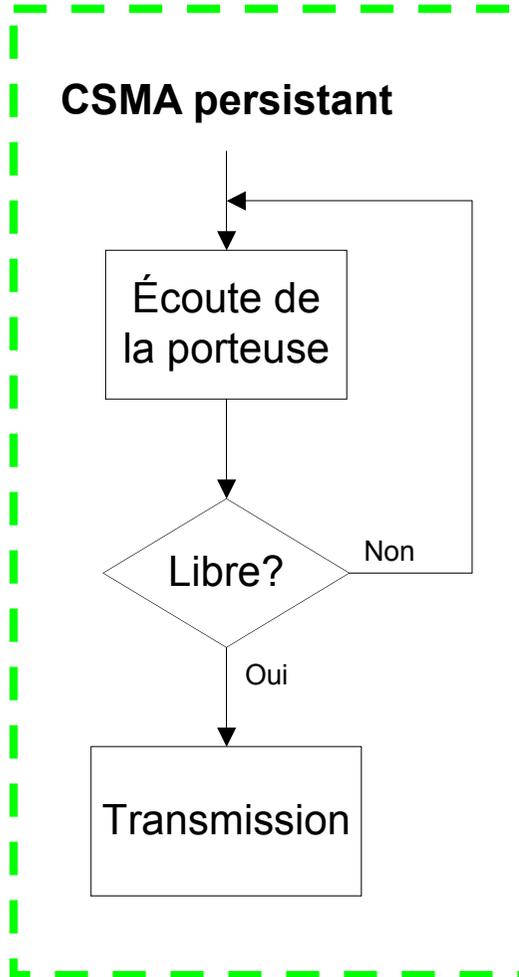


# D'autres améliorations

- Dans ALOHA, les stations ne sont pas au courant des transmissions des autres
- Amélioration: écouter le canal avant de transmettre et commencer la transmission seulement si aucune autre station n'est en train de transmettre
- Méthodes appelées CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

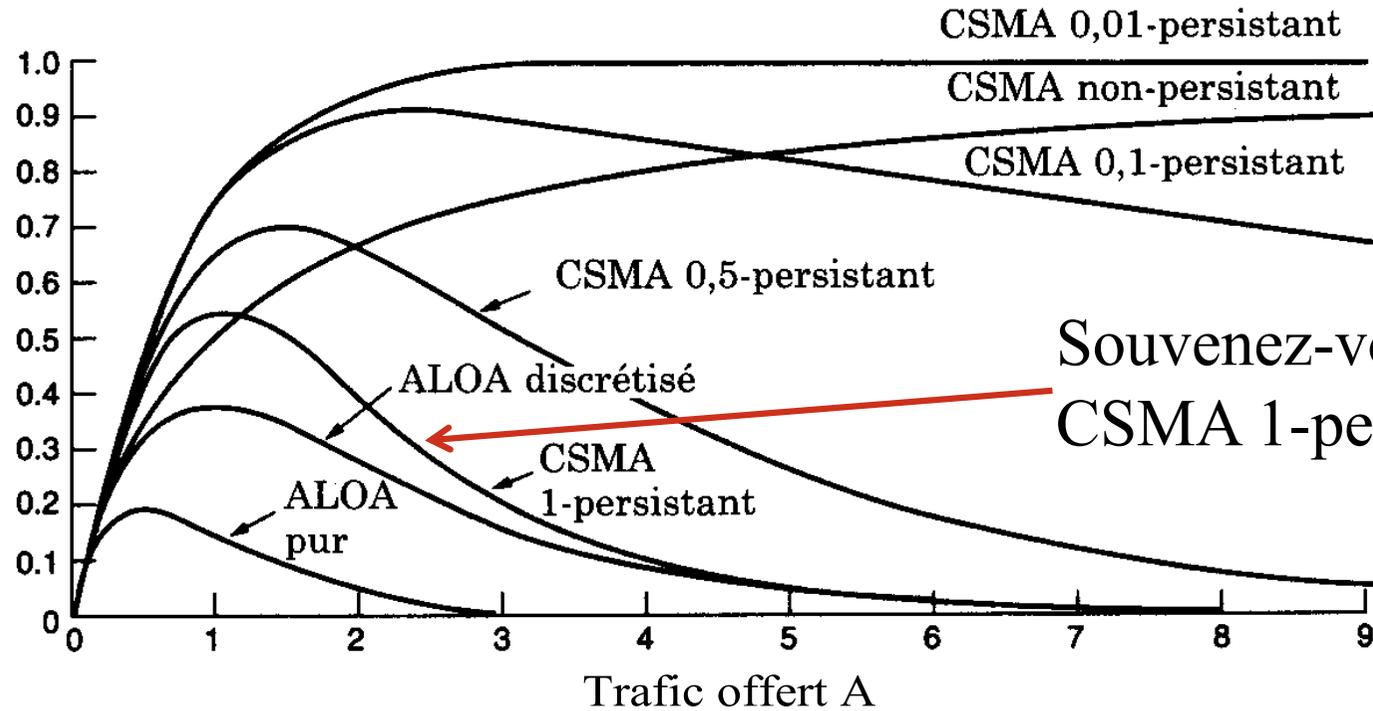
À la base d'Ethernet

# Variantes de CSMA



# Performances de CSMA

Trafic écoulé Y



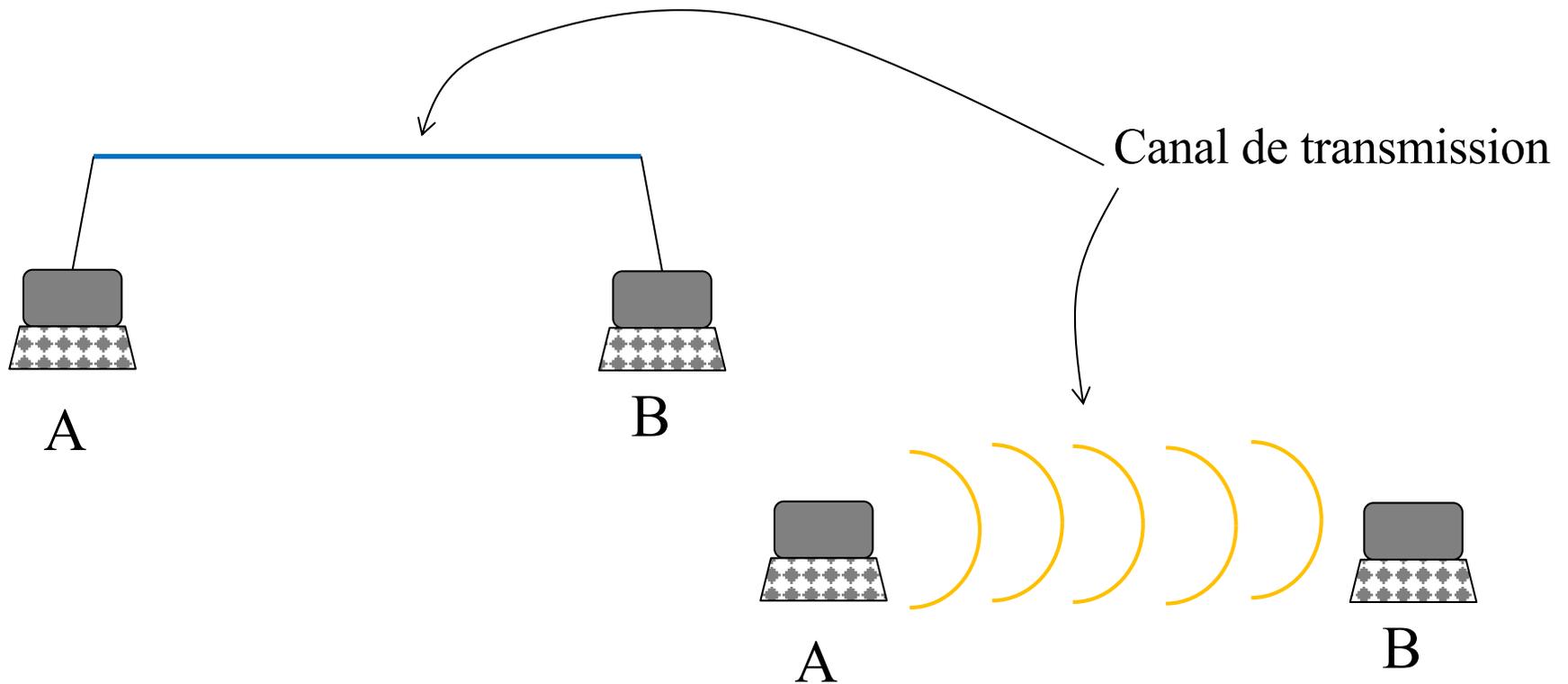
Souvenez-vous de CSMA 1-persistent

# Méthodes d'accès utilisées dans les systèmes actuels

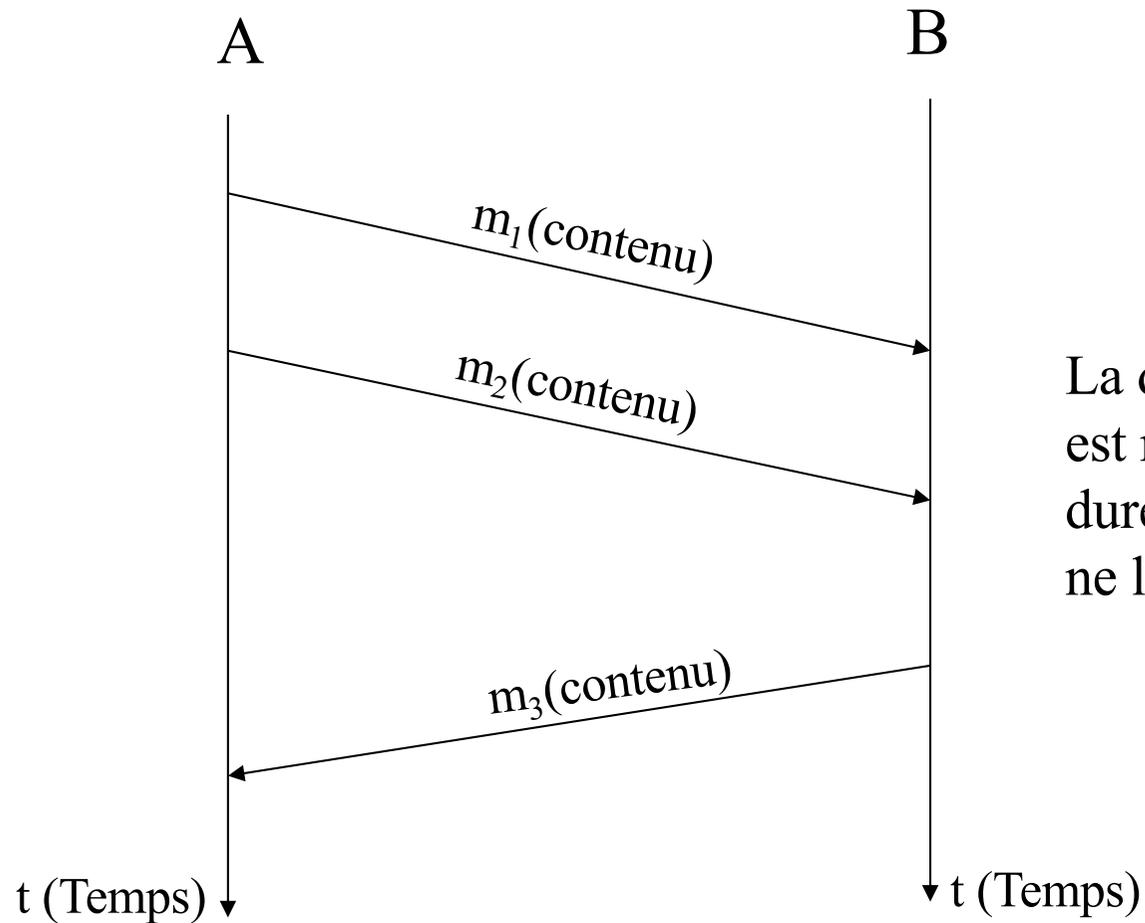
# Méthodes d'accès utilisées dans les systèmes actuels

- Les réseaux locaux et certains des réseaux personnels utilisent des méthodes d'accès basées sur CSMA
- Différents types de diagrammes peuvent être utilisés pour étudier ces protocoles et pour analyser leur fonctionnement...

# Types de diagrammes que nous allons utiliser pour représenter les transmissions entre systèmes informatiques

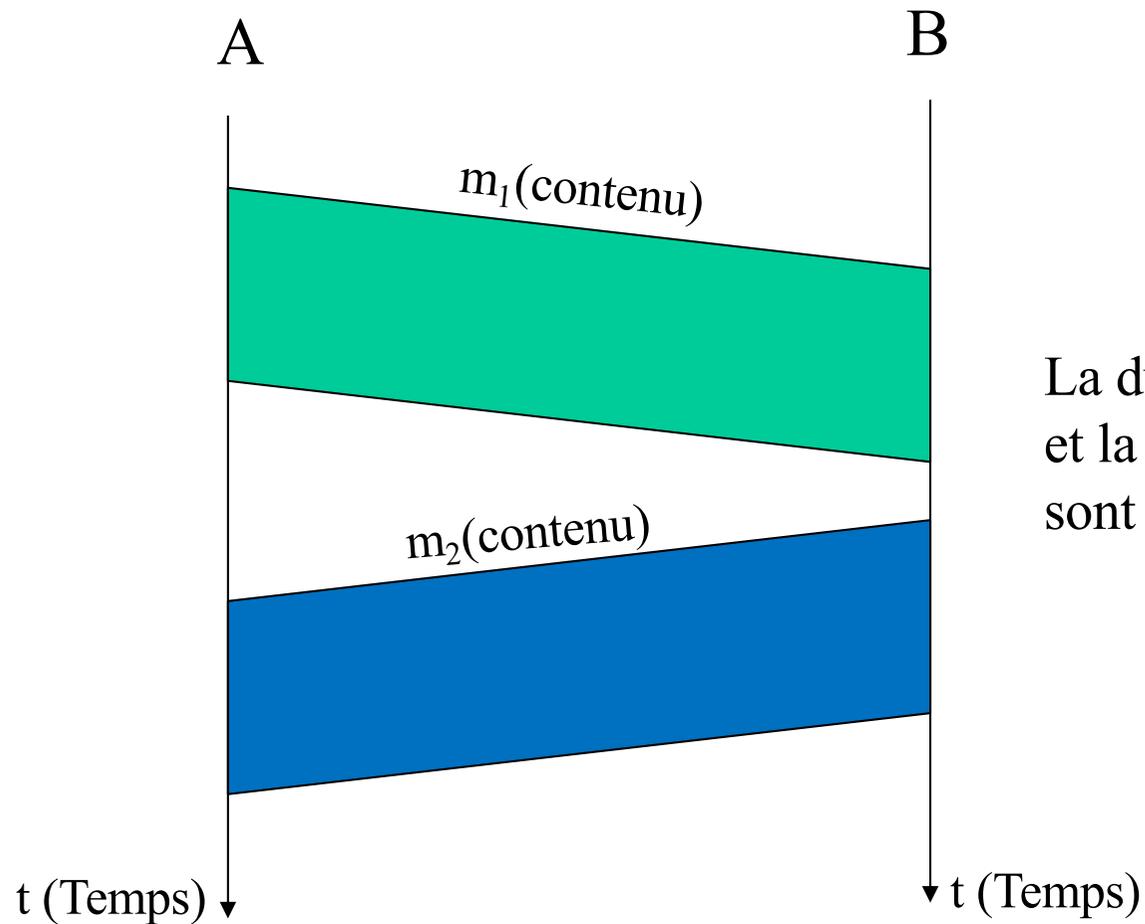


# Diagramme en flèches 1



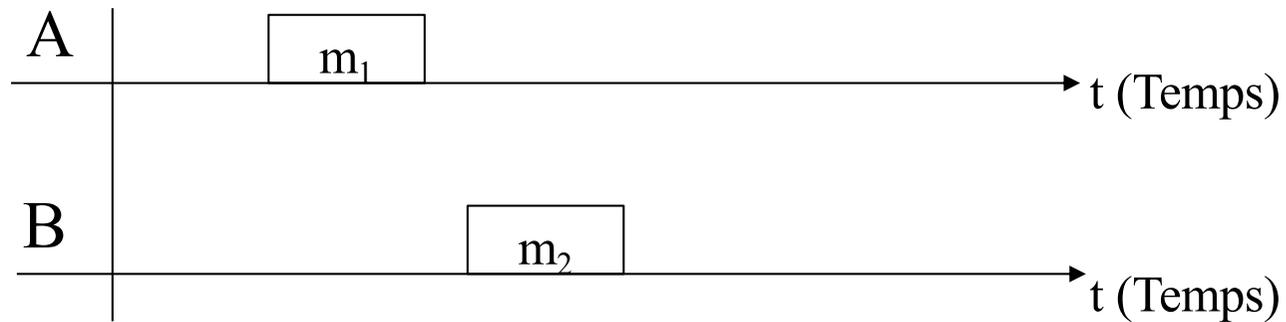
La durée de propagation est représentée mais la durée de chaque trame ne l'est pas.

# Diagramme en flèches 2



La durée de propagation et la durée de chaque trame sont représentées.

# Diagramme horizontal



La durée de propagation  
n'est pas représentée.  
La durée de transmission  
est pas représentée

# La méthode d'accès CSMA/CD

- Dans les réseaux câblés, on peut améliorer considérablement les performances de CSMA si l'on gère les collisions de manière active: on arrête la transmission dès qu'une collision se produit
- Ceci implique que les nœuds doivent pouvoir détecter les collisions
- La méthode qui utilise cette détection s'appelle CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)

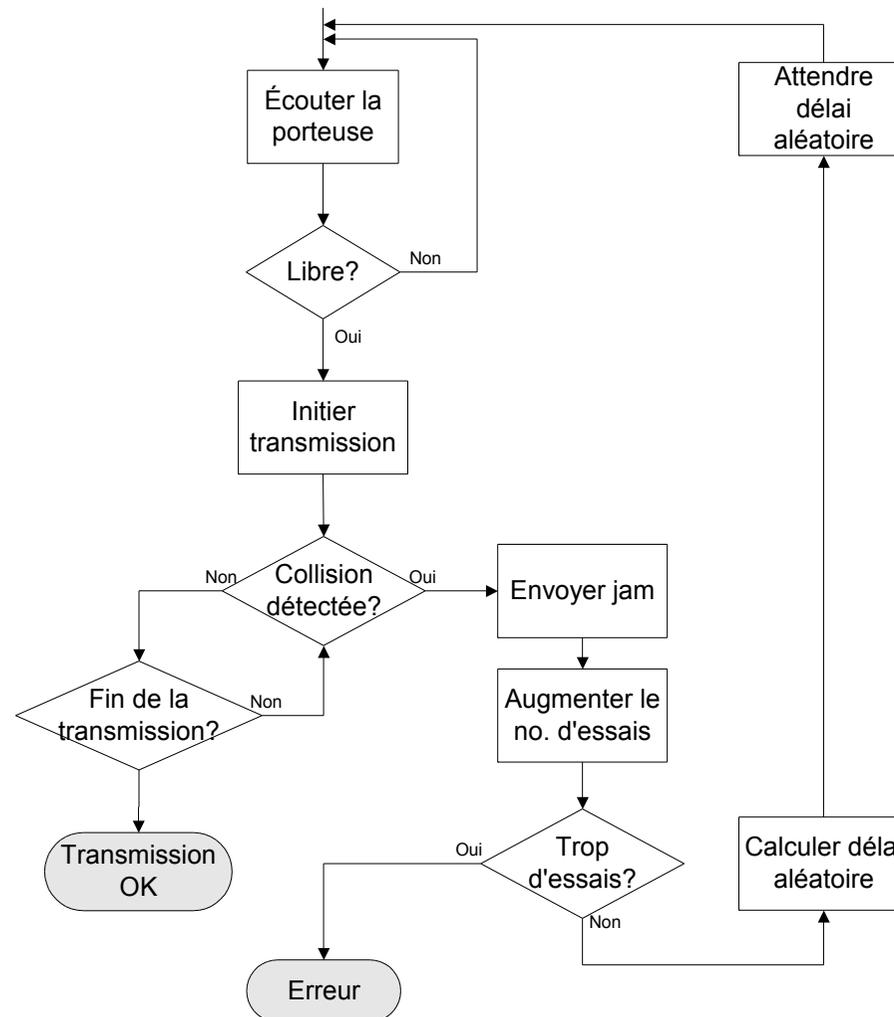
# Comment un nœud sait-il que sa trame est entrée en collision ?

- Le nœud reçoit des bits en même temps qu'il en transmet
- On peut comprendre ceci en faisant l'analogie avec une conversation: si on entend quelqu'un dire quelque chose en même temps qu'on parle, on sait qu'il y a une collision

# L'algorithme CSMA/CD

- Écouter le canal pour déterminer si la porteuse est présente
- Si un signal est présent (une autre station transmet), continuer à écouter sans transmettre (différer)
- Si le canal est libre ou au moment où il se libère, attendre un intervalle IFG (Inter Frame Gap) et transmettre la trame.
- Écouter tout le long de la transmission, surveillant le canal pour détecter des collisions éventuelles
- S'il n'y a pas de collision, considérer que la trame a été livrée avec succès
- Si, au contraire, une collision est détectée, arrêter la transmission de la trame et transmettre un signal de jam de 32 bits
- Attendre un temps aléatoire selon l'algorithme TBEB avant de transmettre la trame une nouvelle fois

# Algorithme CSMA/CD

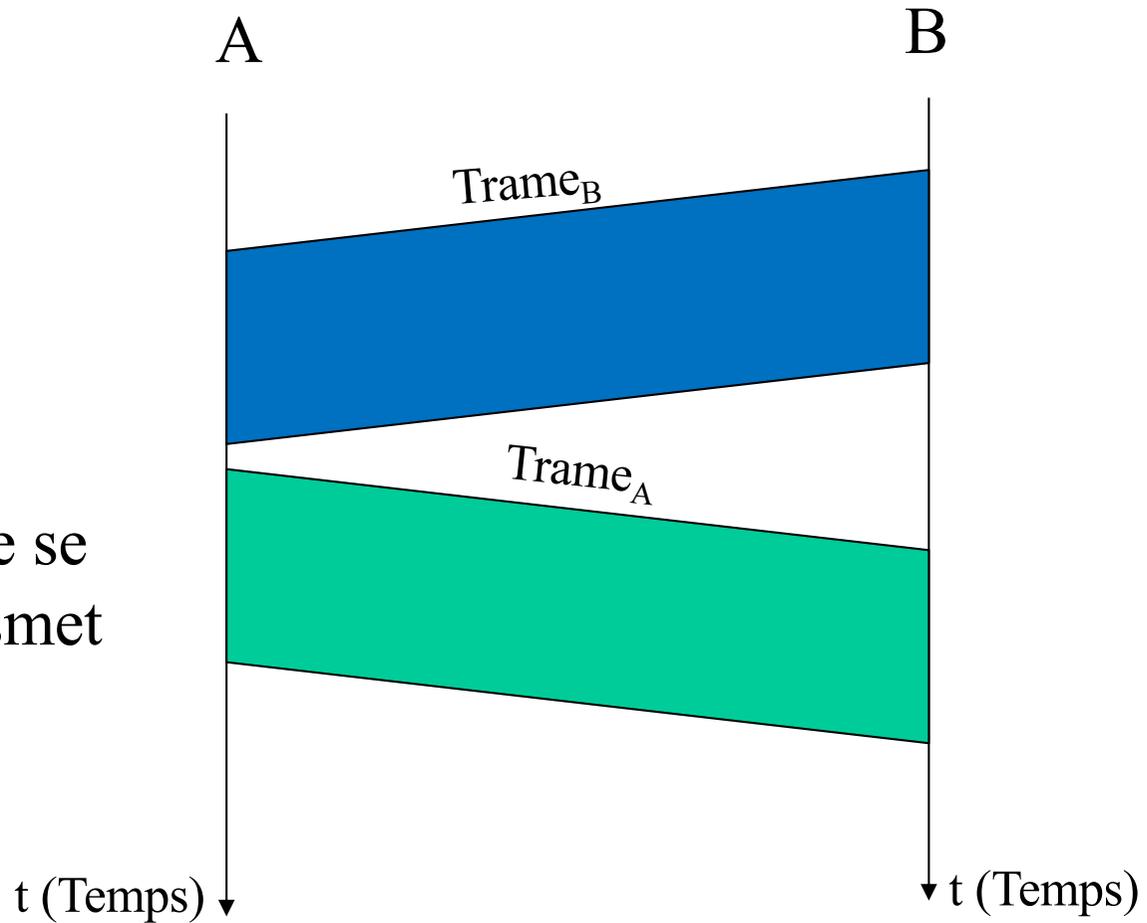


On utilise aussi le terme  
**Half-Duplex** pour décrire le mode  
CSMA/CD dans les réseaux  
Ethernet

# Différents scénarios

Pas de collision

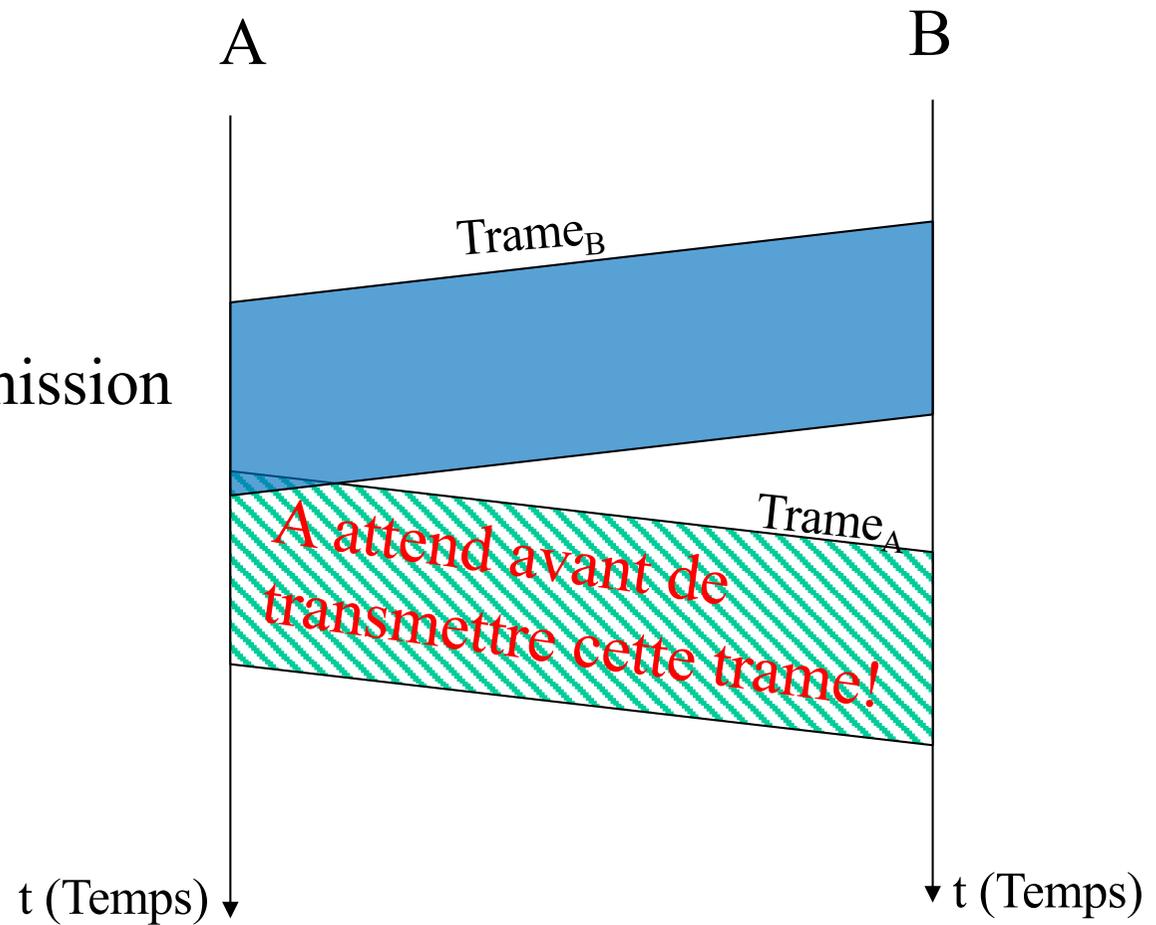
Prochain slide: Que se passe-t-il si B transmet un peu plus tard



# Différents scénarios

Cas 2: A détecte la transmission de B

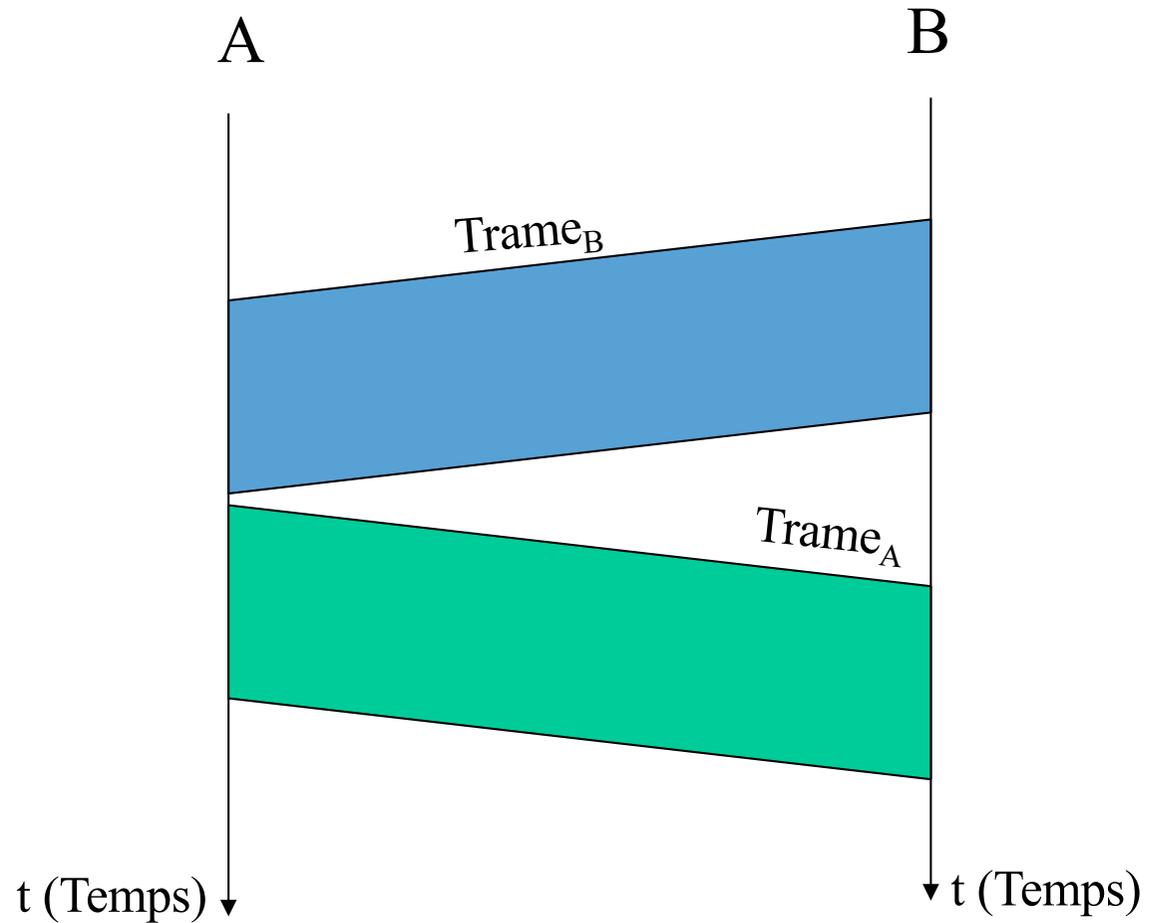
A doit différer



# Différents scénarios

A a différé 😊

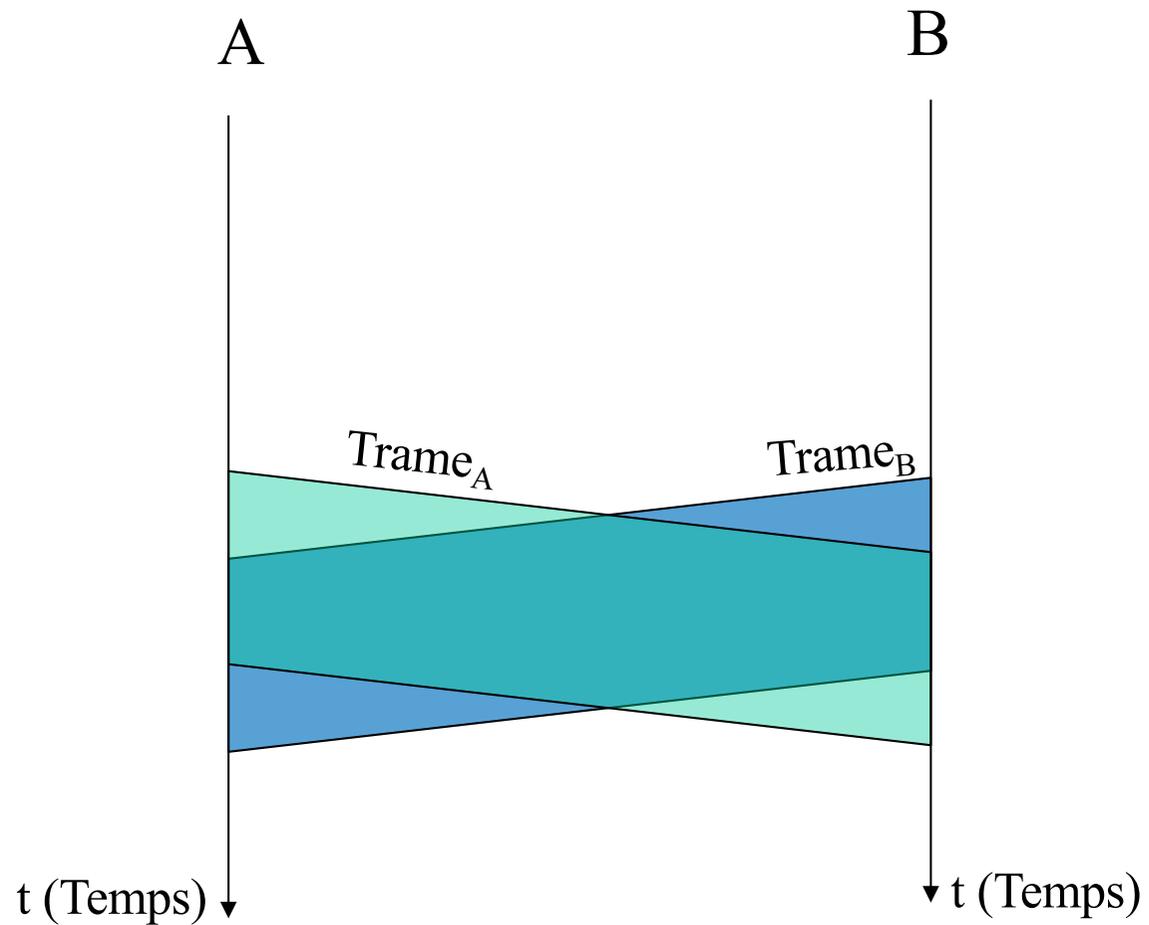
Prochain slide:  
B transmet encore  
plus tard



# Différents scénarios

Collision

A et B détectent la collision (Tx et Rx simultanées) 😊



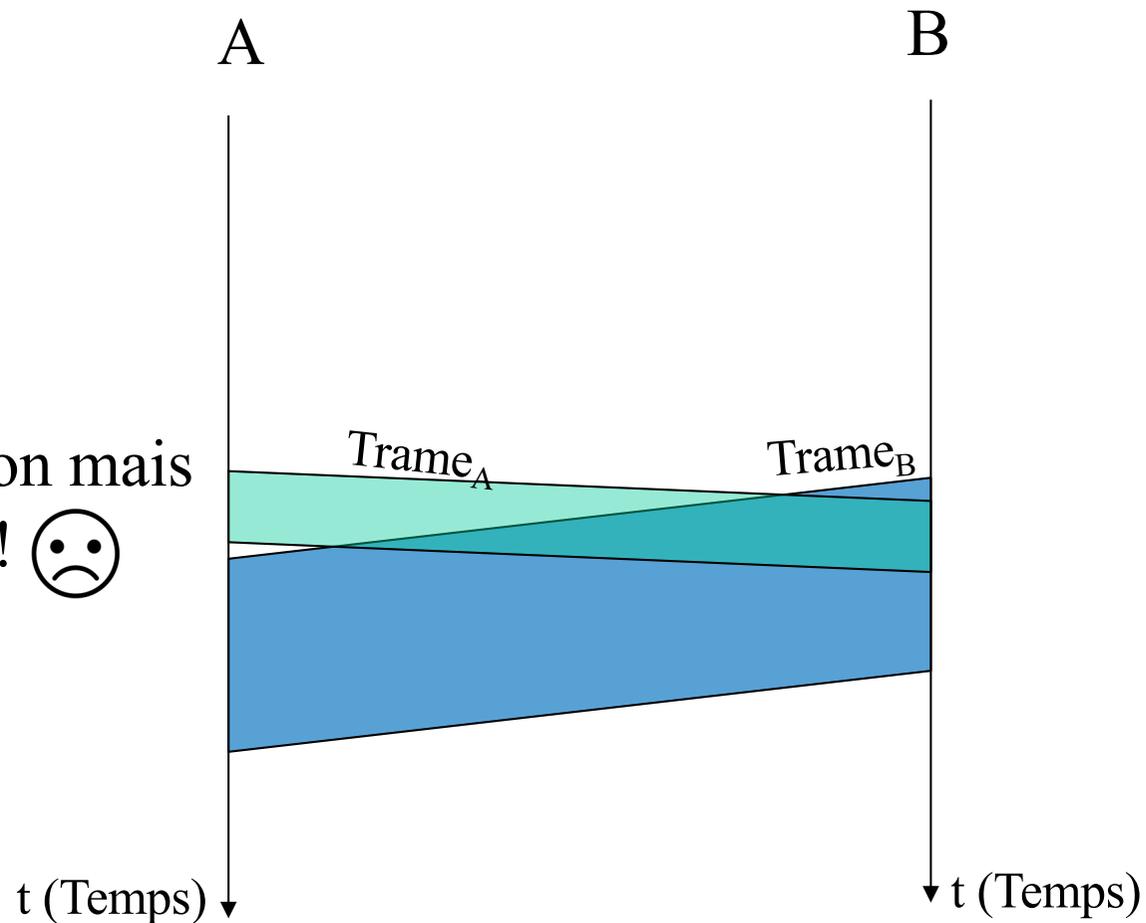
# Différents scénarios

Mais une station doit pouvoir détecter que sa trame est entrée en collision

Collision

B détecte la collision mais

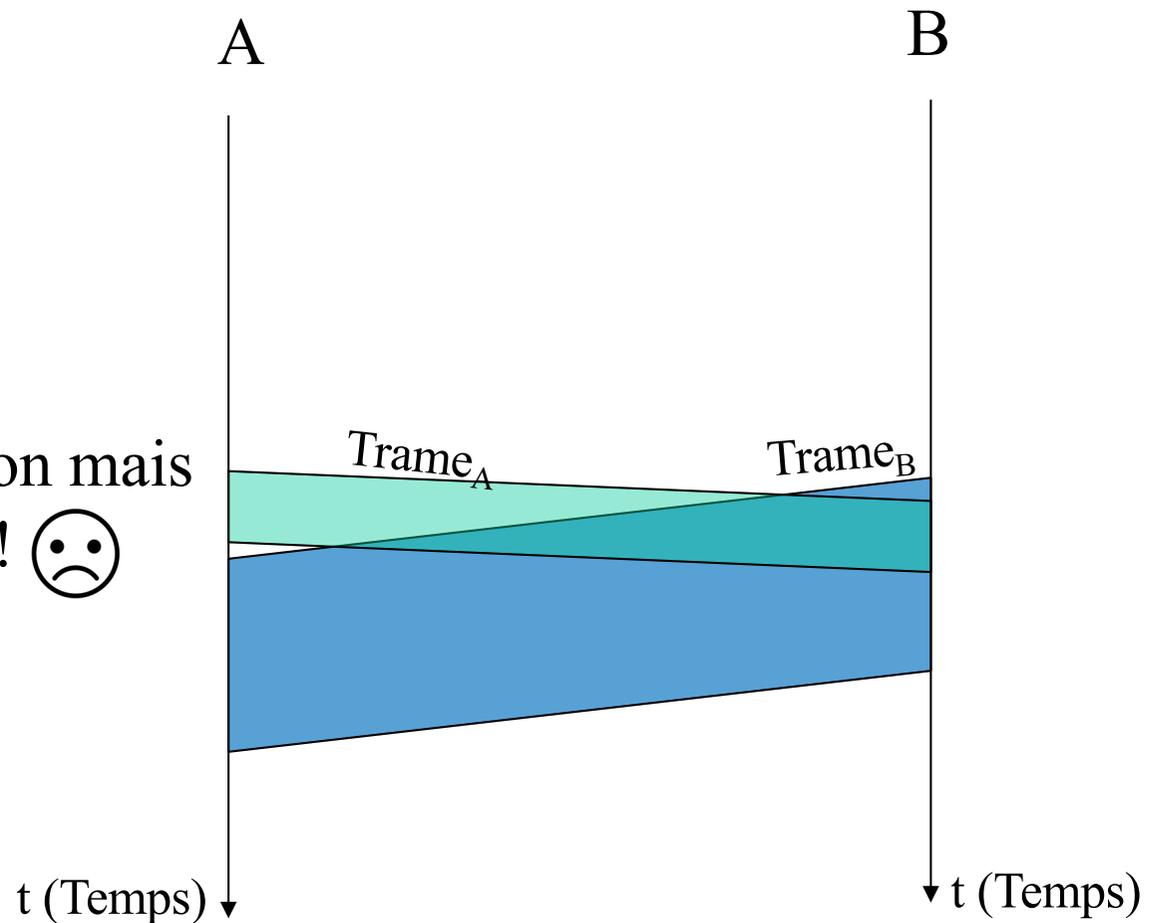
A ne la détecte pas! ☹️



# Quel est le problème?

La trame transmise par A est trop courte

Collision  
B détecte la collision mais  
A ne la détecte pas! ☹️

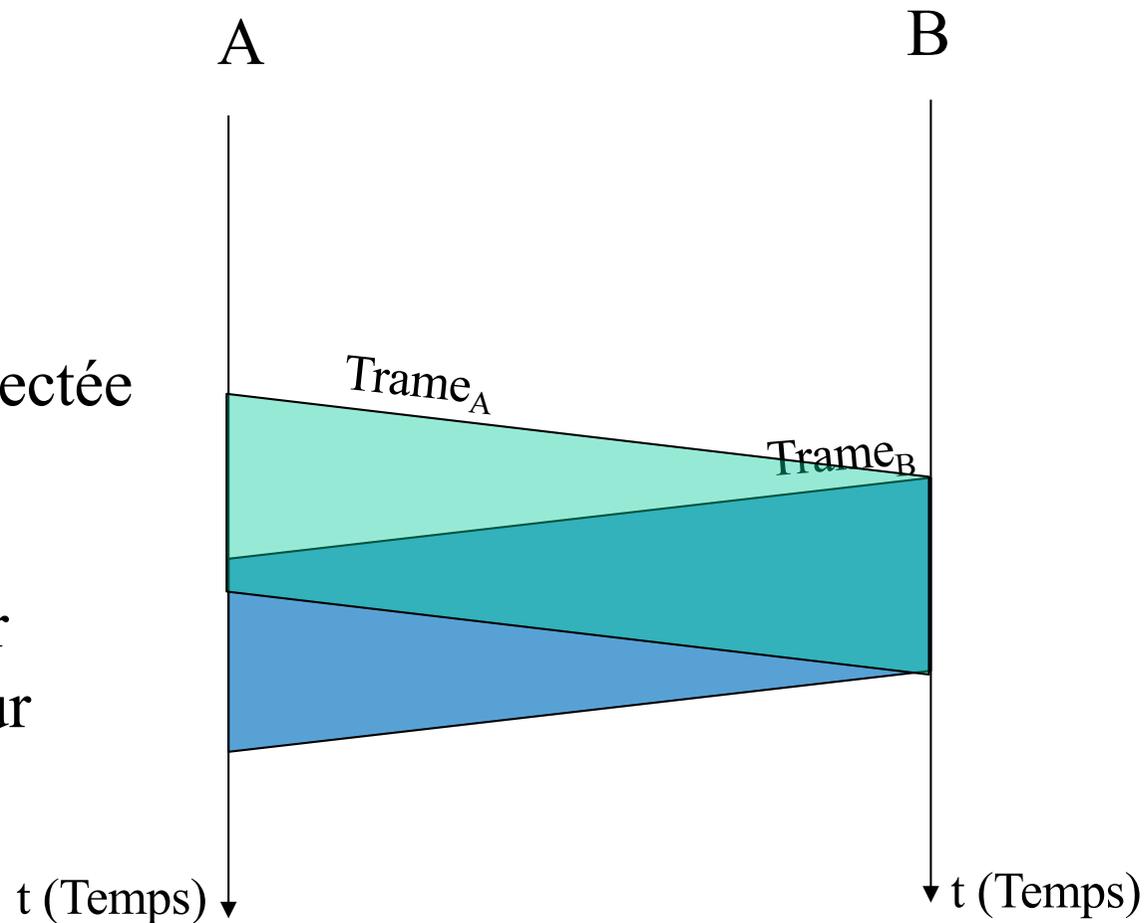


# Solution

Imposer une longueur minimal pour chaque trame

La collision est détectée par A et par B 😊

La trame doit durer le temps aller-retour plus le jam

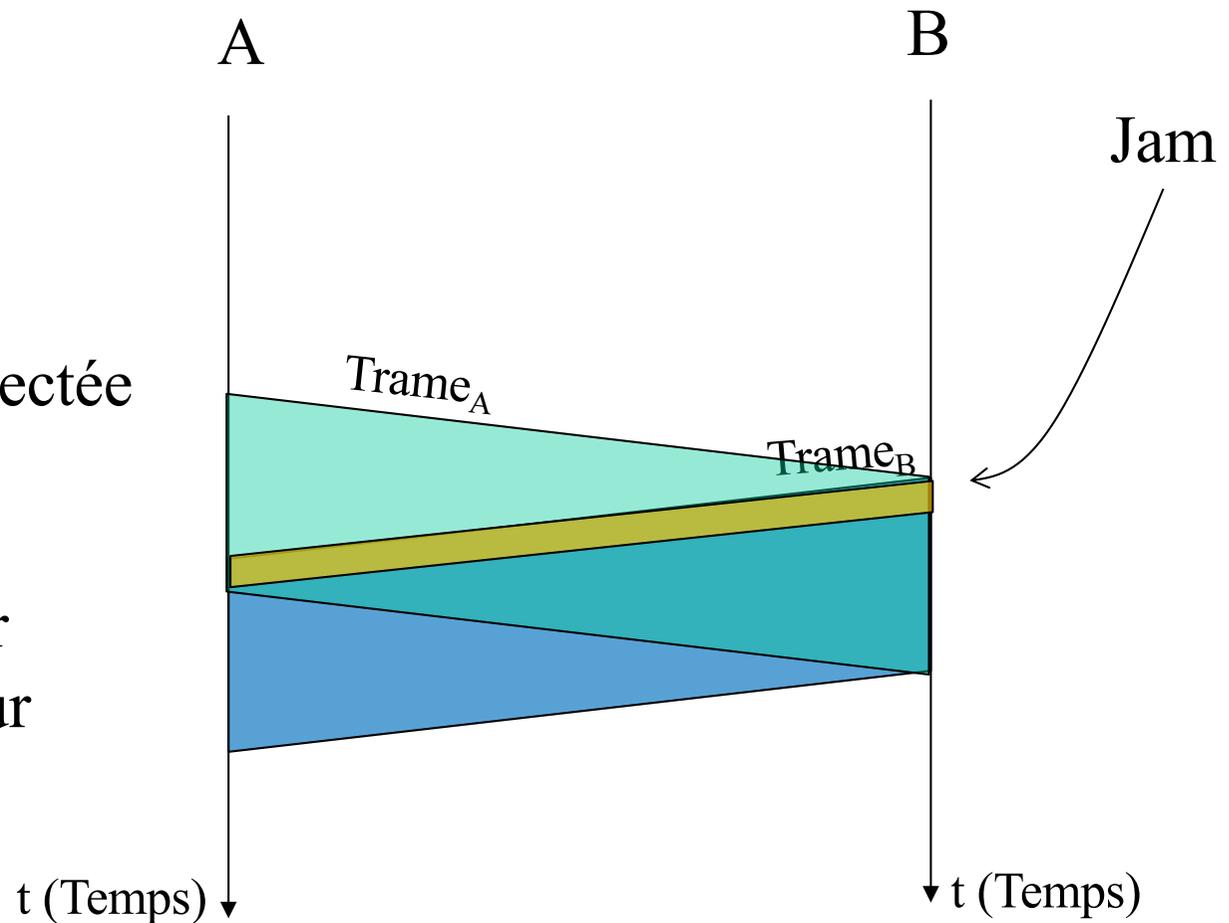


# Solution

Imposer une longueur minimal pour chaque trame

La collision est détectée par A et par B 😊

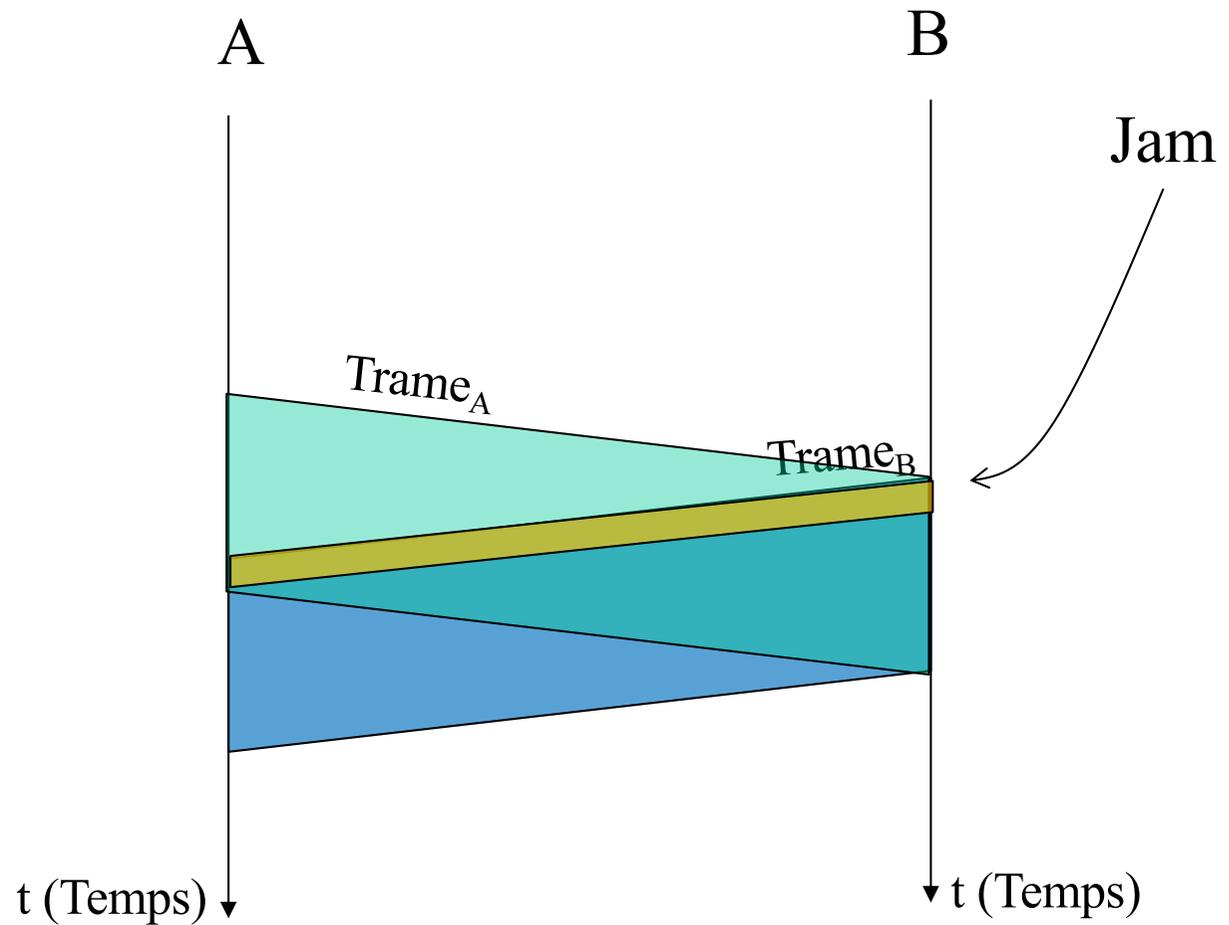
La trame doit durer le temps aller-retour plus le jam



L'utilisation de la méthode CSMA/CD détermine la relation entre le diamètre maximum des réseaux 802.3 et la taille minimum des trames

# Relation entre la longueur des trames et la distance entre les nœuds

Au tableau







# Exercice

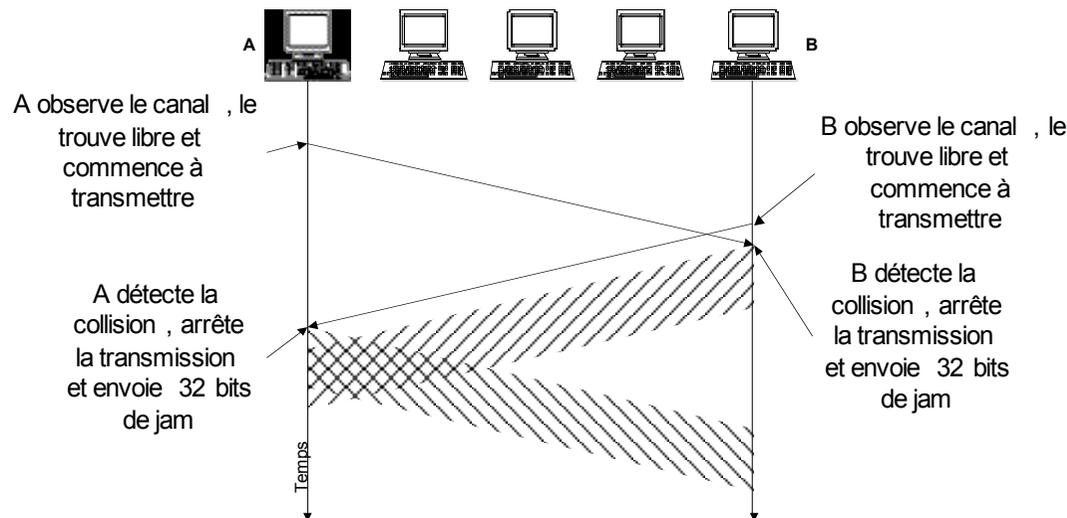
Un réseau câblé utilise CSMA/CD et les trames sont transmises à 5 Mb/s. La vitesse de propagation dans les câbles utilisés est deux tiers de la vitesse de la lumière.

Si on veut que le diamètre du réseau (la distance maximale entre les nœuds) soit 6 km, quelle doit être la longueur minimale des trames transmises?



# Paramètres d'IEEE 802.3

- Pour que chaque station détecte correctement ses collisions :
  - Temps de propagation aller-retour maximal : 512 bits (51.2  $\mu$ s 10 Mbps, 5.12  $\mu$ s à 100 Mbps )
  - Taille minimum d'une trame : 512 bits



Explication au tableau noir

# Gestion de collisions

- Dès qu'une collision est détectée, arrêter la transmission de la trame et envoyer le signal de jam de 32 bits
- Le but est que l'autre station responsable de la collision sache ce qui s'est passé
- Ensuite attendre un back-off aléatoire en utilisant le Truncated Binary Exponential Backoff (TBEB)

## Truncated Binary Exponential Back-off (TBEB)

1. Temps aléatoire est un nombre de slots  $N \cdot S$
2. Un slot est égale à 512 bits
3. Le nombre de slots  $N$  est choisi entre 0 et  $2^i - 1$   
 $i$  est le nombre de collisions consécutives ou

10

Après la première collision,  $i=1$  et  $N$  est choisi parmi les valeurs 0,1

Après la deuxième collision,  $i=2$  et  $N$  est choisi parmi les valeurs 0,1,2,3

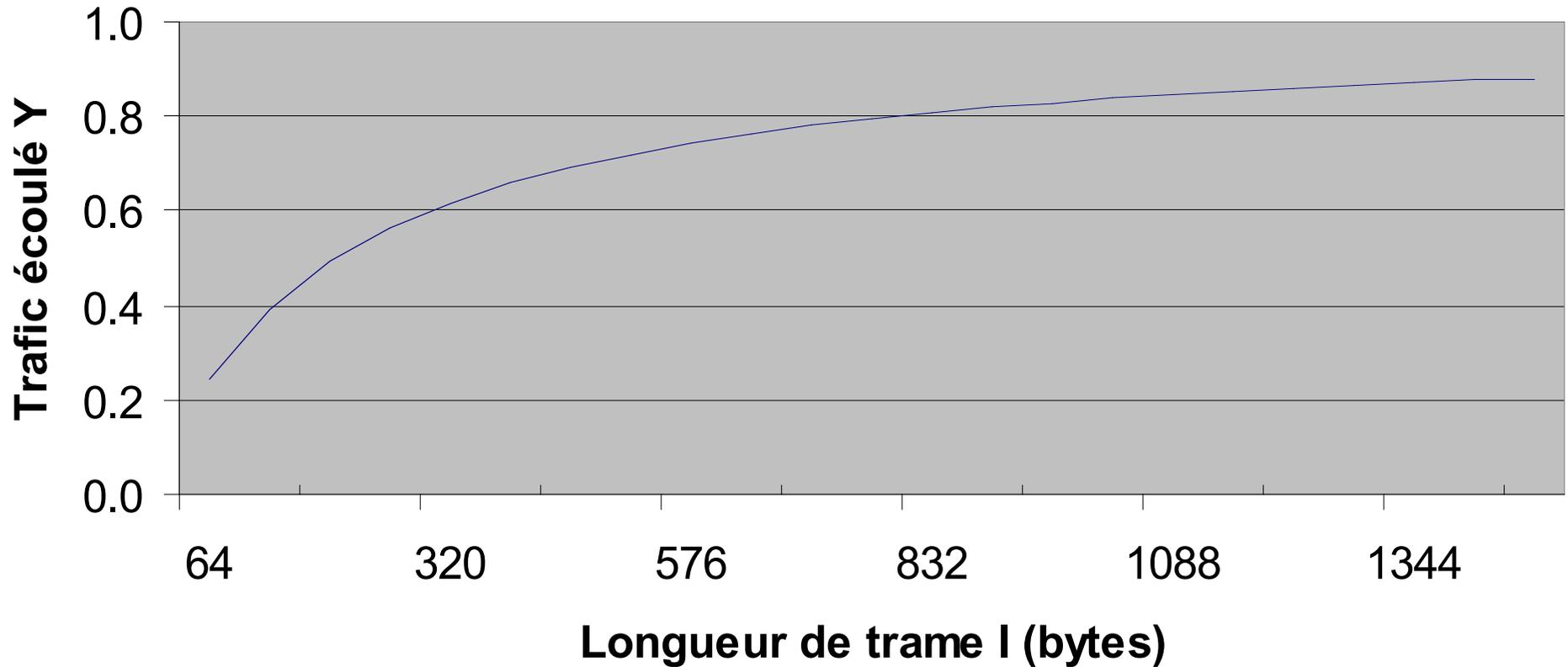
Quels sont les valeurs possibles après la cinquième collision ?

4. Après 10 collisions,  $i$  n'augmente plus
5. A la 16<sup>ème</sup> collision, on abandonne la transmission

# Exercice

- Quel est le backoff maximale après 13 collisions selon le protocole TBEB ?

# Performances de CSMA/CD



# Deuxième méthode s'accès : full-duplex

- Un grand nombre de cartes Ethernet peuvent travailler en mode full-duplex
  - Transmissions simultanées dans les deux sens sur un lien point à point
  - Pas de collisions
  - Pas de retransmission
  - Pas de CSMA/CD !

# Avantages du full-duplex

- Double la bande passante d'un lien point à point
- Pas d'attente avant d'émettre
- La limitation de la longueur d'un segment due à CSMA/CD tombe
  - Délai aller-retour n'est plus important
  - L'atténuation limite la taille d'un segment mais elle peut être compensée à l'aide de répéteurs

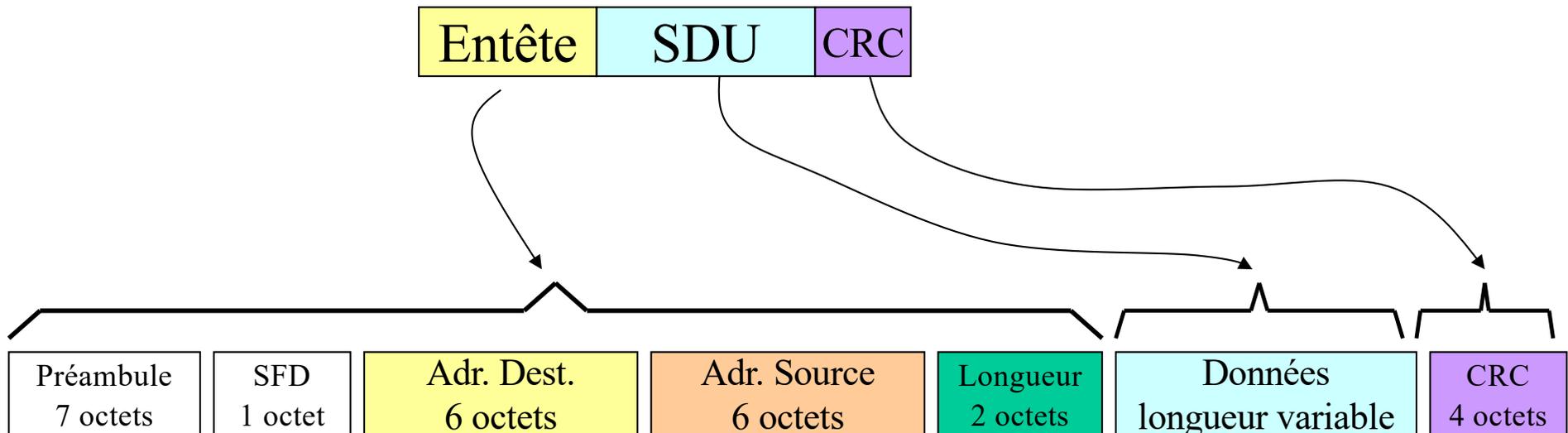
# Régulation de flux en mode full duplex

- En full duplex, les trames peuvent être envoyées à une grande cadence
- Si une station n'arrive pas à suivre le flot de trames d'une autre, elle peut envoyer une trame spéciale appelée PAUSE
- Elle contient un temps mesuré en unités de 512 bits pendant lequel la station ne désire recevoir aucune trame
- La stations peut utiliser un temps égale à zéro si elle est prête à recevoir des trames à nouveau

# Le format de la trame MAC

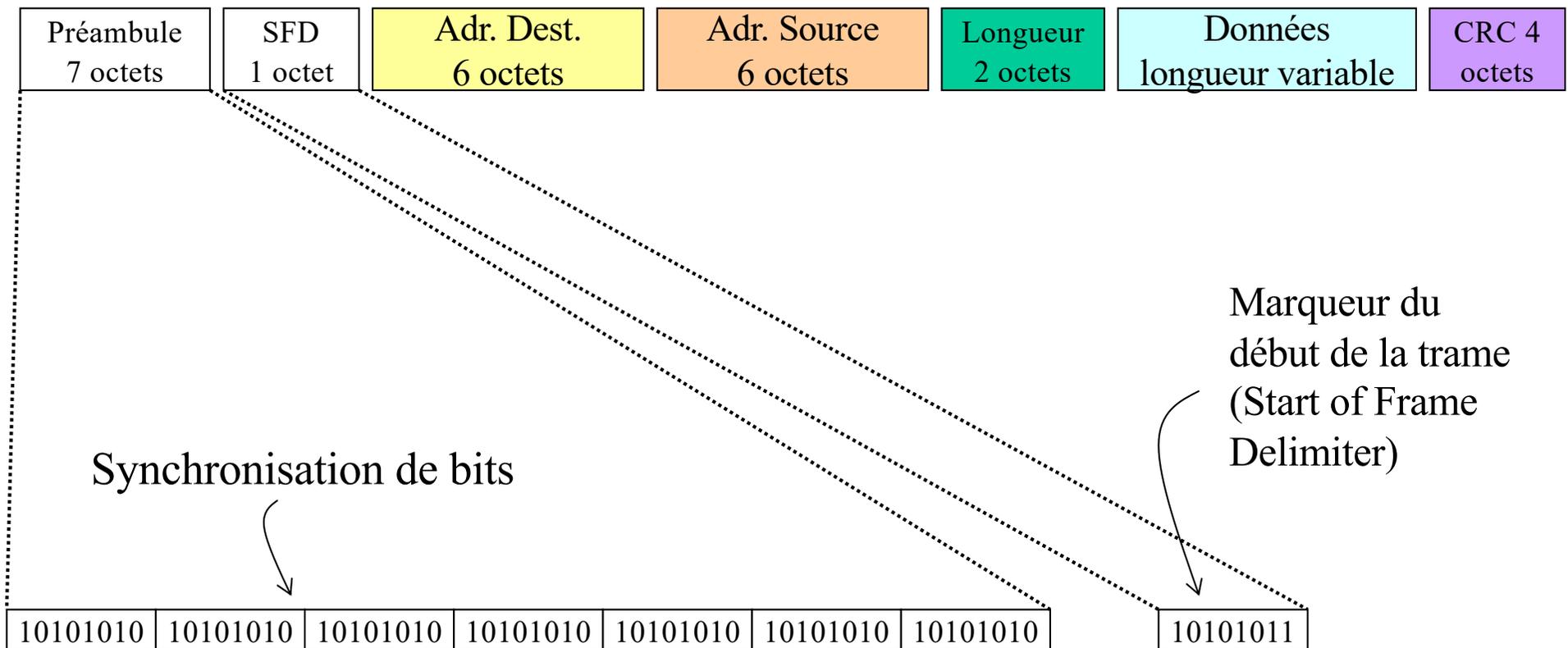
- Il y a deux types de trames MAC:
  - 802.3
  - Ethernet II (ou DIX)
- Elles sont essentiellement identiques
- On peut ajouter d'autres types de trames si l'on considère aussi les différentes entêtes LLC (trame SNAP, trame « Raw 802.3 »)

# Format de la trame 802.3



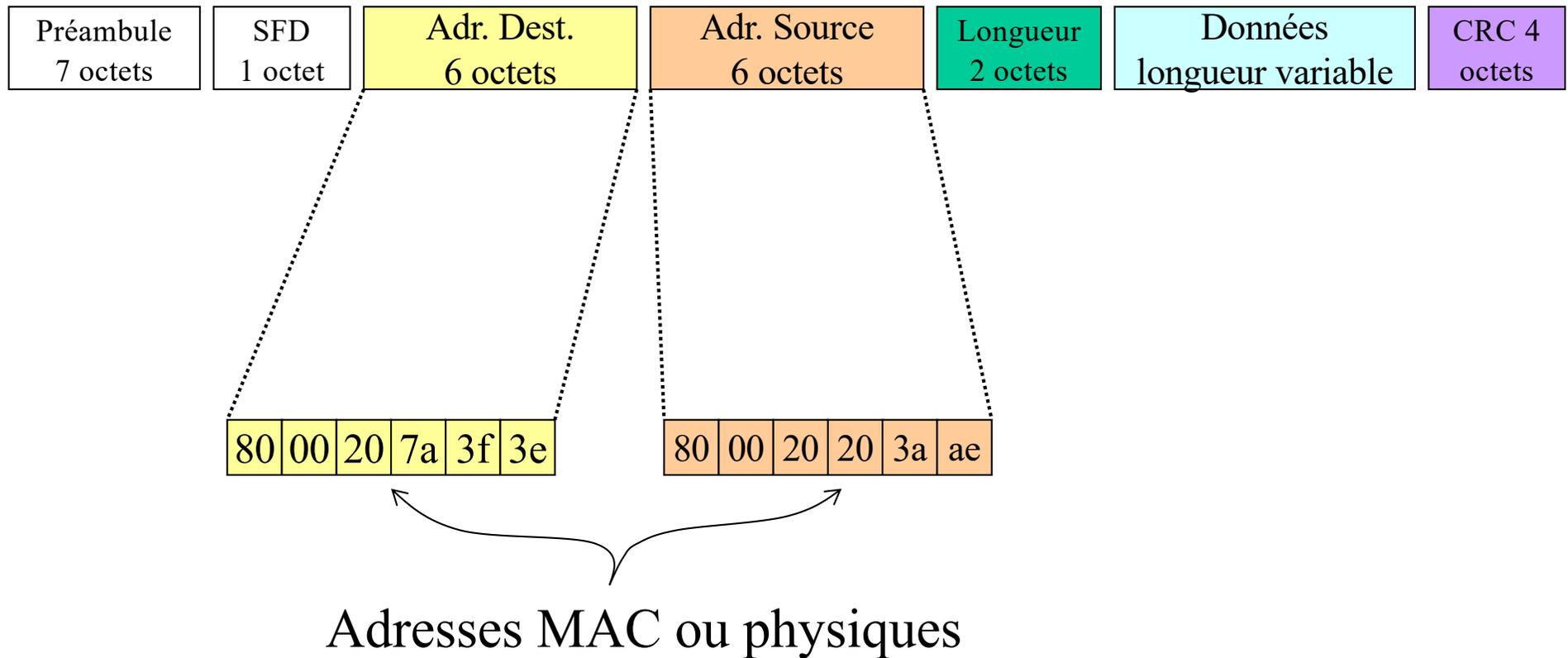
# Trame 802.3

## Préambule et SFD (Start of Frame Delimiter)



# Trame 802.3

## Adresses Source et Destination



# Adresses MAC

- Adresse physique d'une carte réseau
  - **Unique** : Toutes les cartes de réseaux ont une adresse différente
  - **Fixe**: configurée dans la mémoire ROM de la carte
- Longueur: 48 bits ( $2^{48} = 281.474.976.710.656$  adresses)
  - 3 premiers octets : Identification du constructeur (définie par l'IEEE)
    - 00-00-0C-xx-xx-xx: Cisco
    - 08-00-20-xx-xx-xx: Sun
    - 08-00-09-xx-xx-xx: HP
  - 3 derniers octets : Identification de la carte (gérée par le constructeur)
  - Bit le moins significatif du premier octet: Indique une adresse de groupe
  - Deuxième bit le moins significatif du premier octet indique si l'adresse est gérée localement ou globalement

# Adresses de groupe

- **Broadcast** (diffusion)

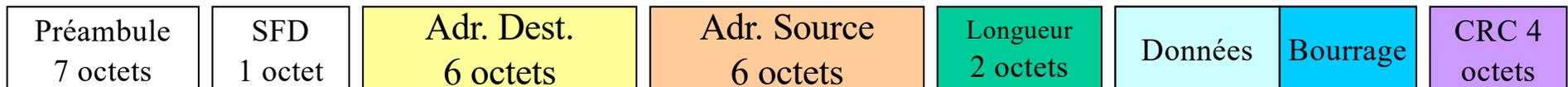
- Adresse FF-FF-FF-FF-FF-FF
- Les cartes réseau écoutent cette adresse et les stations doivent traiter les trames reçues
- Commutateurs et ponts : transmettent une trame reçue sur tous les ports
- Applications
  - **ARP** :  
conversion adresses IP --> MAC)

- **Multicast**

- 1<sup>er</sup> bit transmis de l'adresse vaut 1 (1<sup>er</sup> octet de l'adresse est impair)
  - Exemple : 09-00-2B-00-00-0E
- Une station doit configurer la carte réseau pour écouter une adresse multicast
- Applications :
  - Configuration automatique de l'acheminement dans un LAN (**Spanning Tree Protocol**)
    - Tous les ponts font partie d'un groupe multicast

# Trame 802.3

## Longueur

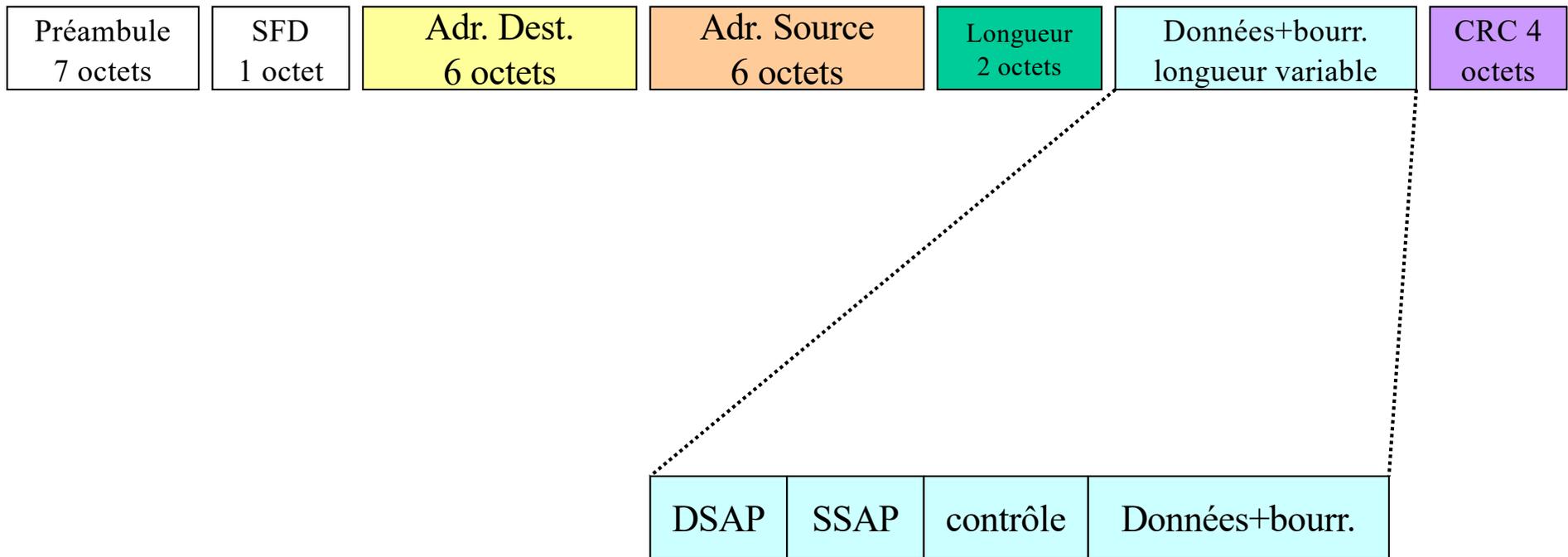


-Contient le nombre d'octets reçus de la sous-couche LLC

-Si cette longueur est plus petite que le minimum de 46, des octets de bourrage sont ajoutés par MAC

-Longueur  $\leq 1500$

# Trame 802.3 Données

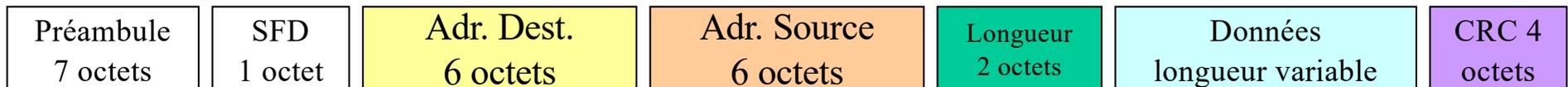


L'entête LLC contient le protocole de niveau 3

Les octets de bourrage sont ajoutés par MAC

## Trame 802.3

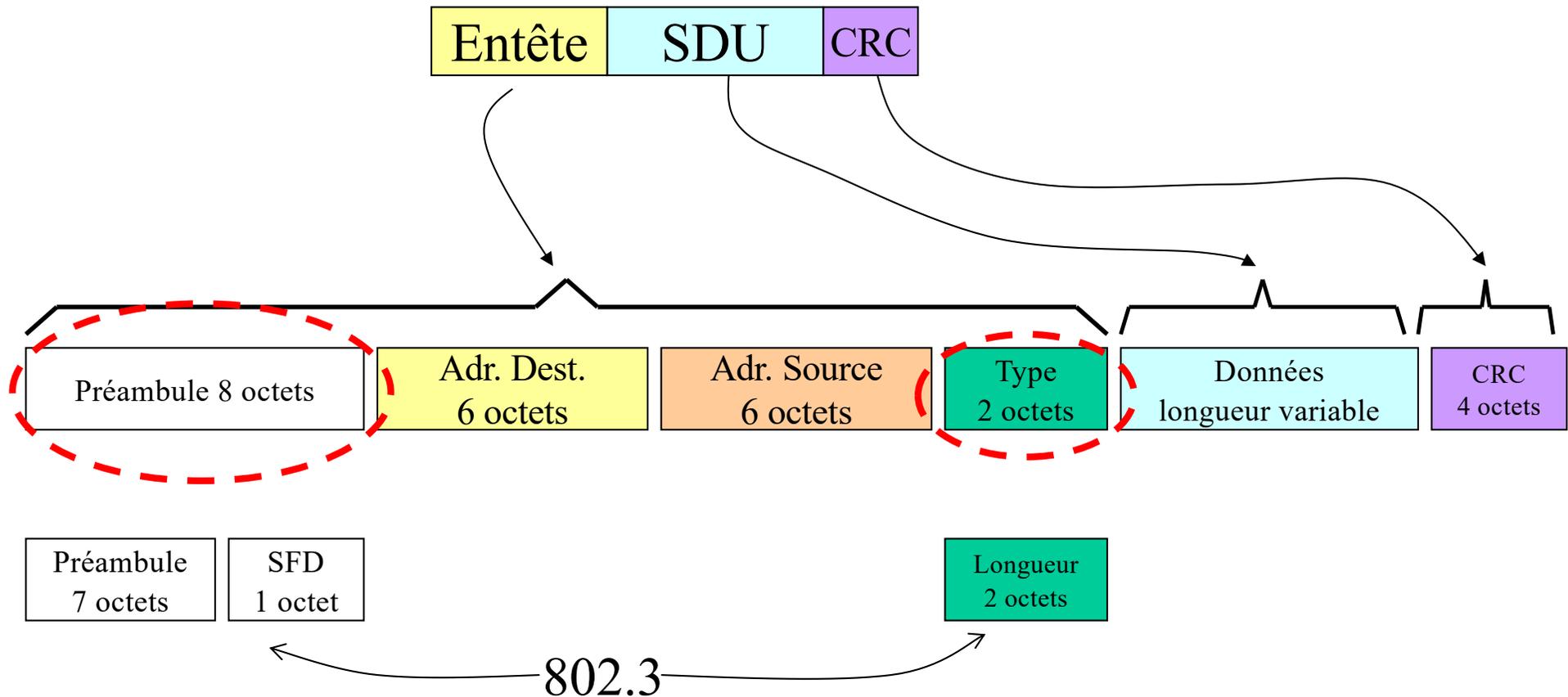
# Cyclic Redundancy Check (CRC)



-Codage pour la  
détection d'erreurs

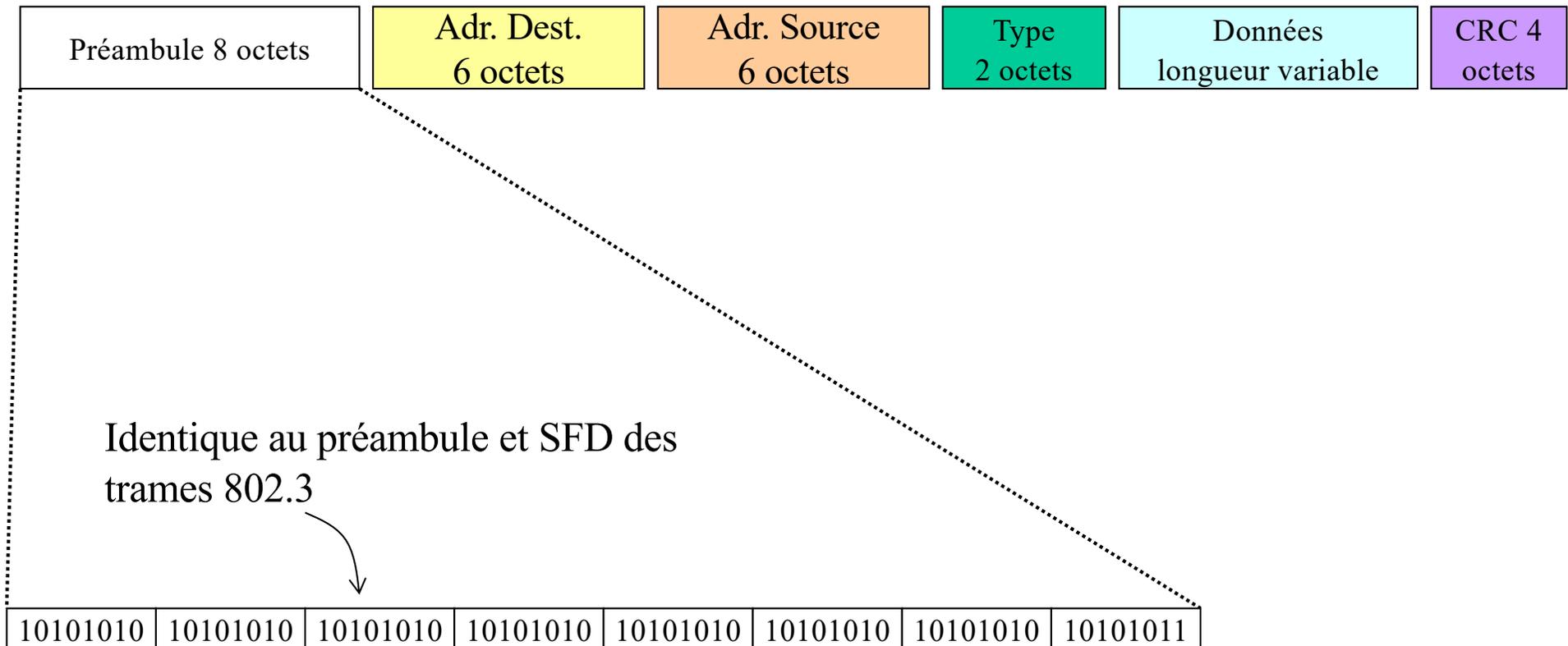
-Les trames erronées  
sont écartées

# Format de la trame Ethernet II



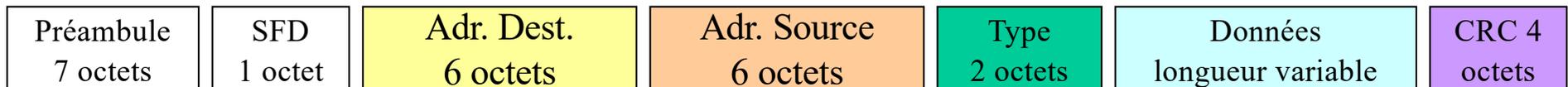
# Trame Ethernet II

## Préambule



# Trame Ethernet II

## Type



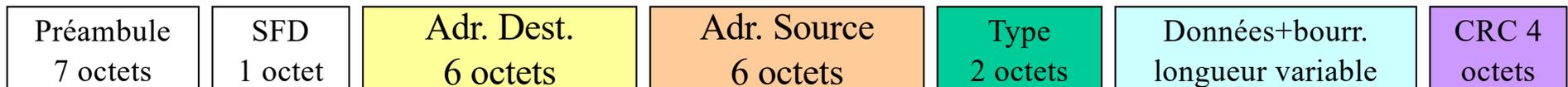
-Identifie le protocole de la couche 3

-Toujours plus grand que 1536

-Le protocole de la couche 3 est responsable d'ajouter l'information sur la longueur

# Trame Ethernet II

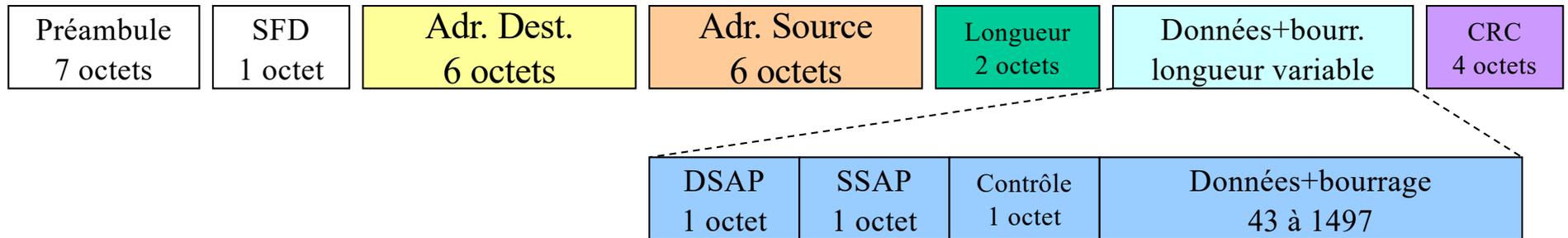
## Données



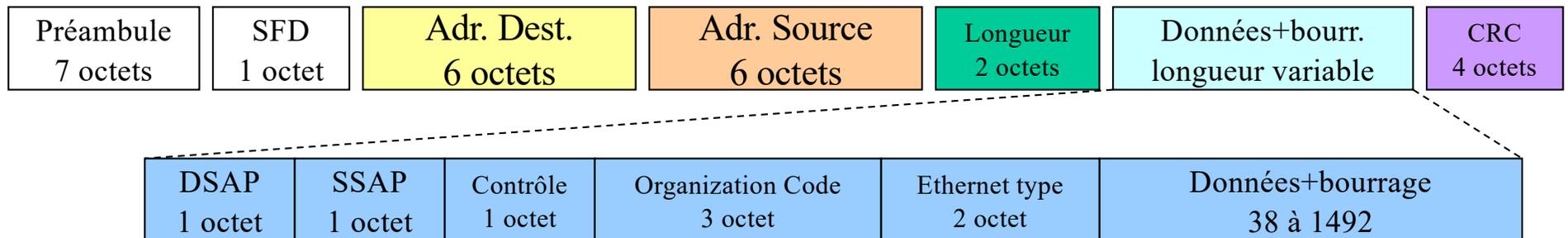
Données et octets de bourrage ajoutés par MAC pour atteindre le nombre minimum de 46 octets

# Trames spéciales : SNAP

## 802.3 normal



## SNAP (Sub-Network Access Protocole)



# Prochains themes : Switch, HUBs, STP et VLAN