

Travaux dirigés 4 – Ethernet

Réseaux Locaux, Ethernet

Plan Général

- 1) ARCHITECTURES DES RESEAUX, DEFINITIONS
- 2) COUCHE PHYSIQUE : MATERIELS, TRANSMISSION
- 3) COUCHE LOGICIEL : COUCHE LIAISON, PROTOCOLES HDLC
- 4) LES RESEAUX LOCAUX : ETHERNET ET WIFI
- 5) RESEAU INTERNET: ADRESSAGE, NOMMAGE DES RESSOURCES
- 6) RESEAU INTERNET: ROUTAGE DES INFORMATIONS
- 7) LES EQUIPEMENTS D'INTERCONNEXION (HUB, SWITCH, GATEWAY, ...)

Exercice 1

Adressage

ADRESSE MAC

Une entreprise dispose d'un réseau Ethernet.

Un nouvel employé dans l'entreprise est doté d'un ordinateur ayant une carte Ethernet d'adresse universelle 3E 98 4A 51 49 76 (en hexadécimal).

- A quel niveau cette adresse est-elle gérée ?
- Est-il nécessaire de vérifier qu'aucun autre ordinateur ne dispose de la même adresse dans le réseau local ?
- Est-il possible de la modifier ?

Les réseaux locaux d'entreprise

- Pour répondre à leurs besoins propres en informatique distribuée, les entreprises ont mis en œuvre des réseaux locaux d'entreprise, constitués d'un ou plusieurs réseaux locaux ou **LAN (Local Area Network)**.
- Ils utilisent des **protocoles simples** car les distances couvertes sont courtes (de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres) et les débits importants (jusqu'à plusieurs centaines de Mbit/s)

Architectures de réseaux locaux

- **Les réseaux locaux informatiques** répondent aux besoins de communication entre ordinateurs au sein d'une même entreprise.
- **Il s'agit de relier un ensemble de ressources** devant communiquer : stations de travail, imprimantes, disques de stockage, ordinateurs, équipements vidéo.
- **Un réseau local se caractérise par des équipements géographiquement proches** les uns des autres et qui coopèrent en utilisant le support de transmission pour diffuser les données.
 - L'ensemble des autres équipements du réseau reçoit tout bit émis par un équipement du réseau local.
- **L'accès à Internet fut ensuite largement facilité**, du fait que les équipements étaient reliés au sein de l'entreprise. Il n'y avait plus qu'à mettre en place un partage sécurisé de cet accès.

Adressage

- **Pour différencier les stations reliées sur un même réseau local, il est nécessaire de les repérer par une adresse.**
- Dans les réseaux locaux, l'adresse utilisée est une adresse physique qui se gère au niveau du matériel.
- **L'adresse est gérée au niveau MAC et possède un format sur 16 bits ou sur 48 bits.**
- **L'adresse sur 48 bits** constitue l'adressage universel des équipements [Numéro de série] :
 - **Premier champ** de 24 bits = le constructeur de la carte.
 - **Le second champ** de 24 bits, librement choisi par le constructeur, est le numéro de la carte elle-même.
 - De cette façon, toute carte réseau d'un ordinateur possède une adresse physique unique dans le monde.

Format général des
adresses MAC.

Adresse universelle sur 48 bits

Adresse constructeur 24 bits

Adresse carte 24 bits

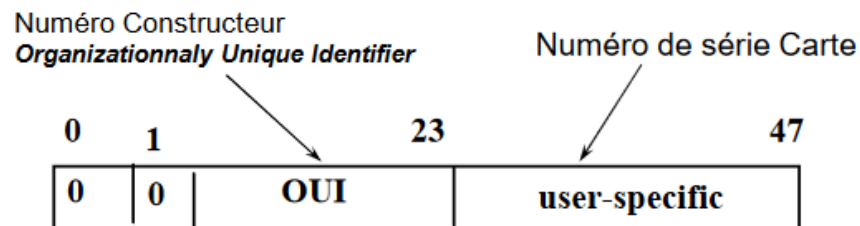
- **Le format universel sur 48 bits est le plus utilisé.** Il est généralement baptisé **adresse MAC**.
- Lorsque tous les bits sont positionnés à 1 (sur 16 bits ou sur 48 bits), il s'agit d'une adresse de diffusion correspondant à l'ensemble des stations d'un réseau local.
- **Les systèmes d'exploitation affichent l'adresse MAC de la carte réseau en hexadécimal, grâce à la commande **ifconfig** (pour Unix) ou **ipconfig** (pour Windows).**
 - **Le système hexadécimal** est un système de numération positionnel en base 16. Il utilise ainsi 16 symboles, en général les chiffres arabes pour les dix premiers chiffres et les lettres A à F pour les six suivants.
- **On sépare les différents octets** par deux points sous Unix ou par un tiret sous Windows, comme le montrent les deux exemples ci-après
 - **Sous Linux**, la commande `/sbin/ifconfig eth0` affiche (entre autres) :
`eth0Link encap:EthernetHWaddr 00:90:27:6A:58:74`
 - **Sous Windows**, la commande `ipconfig /all` affiche (entre autres) :
`Adresse physique : 52-54-05-FD-DE-E5`

- ✓ L'adresse MAC est l'identifiant de la carte de communication.
- ✓ C'est une adresse associée au matériel, à savoir l'interface physique de communication.
- ✓ Cette adresse a été normalisée par l'IEEE et est représentée sur 6 octets en Hexadécimale.
- ✓ C'est en quelque sorte le numéro de série de la carte.
- ✓ L'unicité de cette adresse est assurée par les constructeurs des cartes, telle que : les 3 premiers octets (prefixe) indiquent le n° du constructeur, et les 3 derniers octets (3 octets) représentent le numéro de série de la carte.
- ✓ Deux cartes ne peuvent jamais avoir le même numéro de série.
- ✓ Il est donc inutile de vérifier qu'aucun autre ordinateur ne possède la même adresse (MAC) dans le réseau local.
- ✓ Cependant, certains constructeurs de cartes proposent de modifier de façon logicielle cette adresse.
- ✓ Il est donc possible de changer l'identifiant d'une carte Ethernet



ADRESSE UNIVERSELLE MAC 802 (2) - Résolution d'adresses (ARP) -

- 00:00:0C:XX:XX:XX : Cisco
- 08:00:20:XX:XX:XX : Sun
- 08:00:09:XX:XX:XX : HP
- 08:00:14:XX:XX:XX : Excelan



- ♦ Le protocole ARP (Address Resolution Protocol) permet aux stations d'un RLI de trouver automatiquement l'adresse MAC d'une station distante en ne connaissant que son adresse IP.

Exercice 2

Dimensionnement d'un réseau local

Sur un câble coaxial en cuivre utilisé en Ethernet 10base5, la vitesse de propagation du signal électrique est de 2.10^8 m/s.

Quelle est la longueur maximum d'un segment pour que le réseau local puisse fonctionner correctement sachant que la taille minimale d'une trame est de 64 octets ?

Historiquement, la première solution rencontrée est un plan de câblage en bus et le support utilisé un câble coaxial.

Les équipements raccordés doivent respecter entre eux une contrainte de distance minimale.

La nomenclature, sous la forme XBase n, décrit le débit du réseau et le support :

- X exprime le débit en Mbit/s,
- Base indique une transmission en bande de base,
- et n renseigne sur le type de câble.

Les câblages initialement utilisés sont le 10 Base 5 et le 10 Base 2

- **10 Base 5** est un câble coaxial de 500 m maximum par segment, avec une transmission en bande de base et un débit de 10 Mbit/s. Il est à l'origine du produit Ethernet.
- **10 Base 2** est un câble coaxial plus fin donc plus maniable, de 180 m maximum par segment, avec une transmission en bande de base et un débit de 10 Mbit/s.

On supposera le pire des cas où deux stations A et B situées sur un même segment réseau émettent simultanément une trame de taille minimale.

Il faut que la collision entre les deux trames arrive avant que l'émetteur A ait fini d'envoyer ses données.

Temps emission

$$= \frac{64 \cdot 8}{10 \cdot 10^6}$$

$$= \frac{512}{10^7} = 512 \cdot 10^{-7} \text{ sec}$$

1000	10 ³	kbit	kilobit
1000 ²	10 ⁶	Mbit	megabit
1000 ³	10 ⁹	Gbit	gigabit

→ **10 Base 5** est un câble coaxial de 500 m maximum par segment, avec une transmission en bande de base **et un débit de 10 Mbit/s**. Il est à l'origine du produit Ethernet.

Temps propagation aller retour

$$= 2 \cdot \frac{d_{max}}{V} = \frac{2 \cdot d_{max}}{V} = \frac{2}{V} \cdot d_{max}$$

Quelle est la longueur maximum d'un segment pour que le réseau local puisse fonctionner correctement

$$T_p \text{ aller retour} = \frac{2}{V} \cdot d_{max}$$

$$\Leftrightarrow T_p \text{ aller retour} \cdot \frac{V}{2} = d_{max}$$

$$\Leftrightarrow d_{max} = 512 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 10^8}{2}$$

$$= \frac{512 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 10^{-7}}{2} = 512 \cdot 10^1 = 5120 \text{ m}$$

la vitesse de propagation du signal électrique est de **2.10⁸ m/s**.

Vu qu'il s'agit d'un réseaux local alors le temp de propagation est négligeable (réseaux local = distance courte) et donc à la place du temp de propagation , dans ce calcul, on a pris le temp d'émission

?

Te

Délai (temps) de d'émission du message (sec)

délai d'émission de la trame

Émission = Mise en circulation (de monnaies, titres, effets, etc.). Fait d'émettre, de projeter au-dehors (un liquide physiologique, un gaz sous pression).

$$Te = \frac{L}{C}$$

$$= \frac{\text{longueur du message/la trame (bit / s)}}{\text{Débit binaire de la liaison/Capacité / Débit de la ligne (bit / s)}}$$

Tp

Délai/temps de propagation

Le temps mis pour que le signal se propage sur le matériel

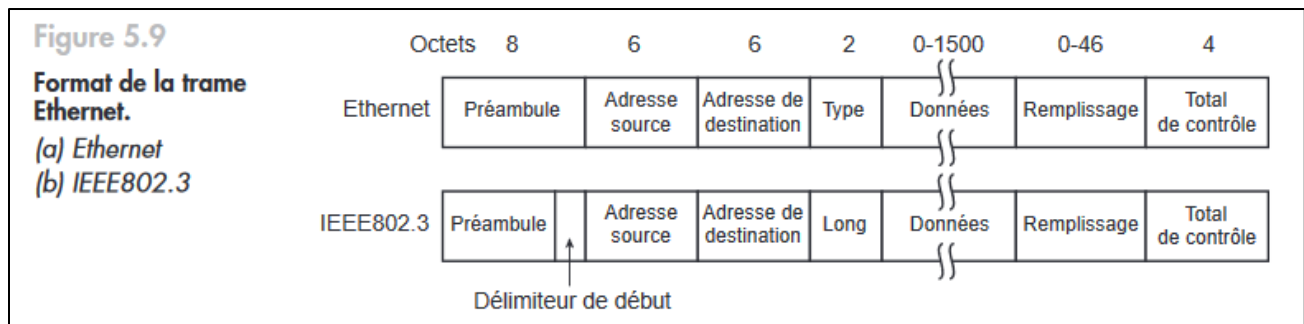
$$Tp = \frac{d}{V}$$

$$= \frac{\text{distance à parcourir}}{\text{Vitesse de propagation du signal sur le support}}$$

Exercice 3

Analyse de trames

Format de la trame Ethernet



La figure 5.9. illustre le format de la trame Ethernet de base.

- Il comprend un long **préambule** (101010...) provoquant l'émission d'un signal rectangulaire de fréquence 10 MHz si le débit de transmission est de 10 Mbit/s.
- L'ensemble des équipements du réseau se synchronise ainsi sur le message émis.
- **Le champ SFD (Start Frame Delimitor)** contient la séquence 10101011 qui marque le début de la trame.
- La trame contient dans son premier champ significatif l'adresse du destinataire **DA (Destination Address)** et celle de l'expéditeur **SA (Source Address)**.
 - Il s'agit des adresses MAC.
- Un champ sur deux octets précise **la longueur** (en nombre d'octets) des données de la couche LLC.
 - La norme 802.3 ayant défini une longueur minimale de trame à 64 octets (qui représente à 10 Mbit/s un temps de transmission de 51,2 microsecondes), celle-ci est complétée par des octets de « bourrage » si la trame est plus courte.
 - En fait, la taille de la trame doit être comprise entre 64 et 1 518 octets, ce qui laisse de 46 à 1 500 octets « utiles » dans le champ de données.
 - La taille maximale est imposée pour assurer un rôle équitable entre les différents équipements (celui qui a réussi à prendre la parole ne peut pas la monopoliser...).

- La trame se termine par un champ **FCS (Frame Check Sequence)**. Calculé par l'émetteur, le FCS permet au récepteur de vérifier la validité des trames reçues.

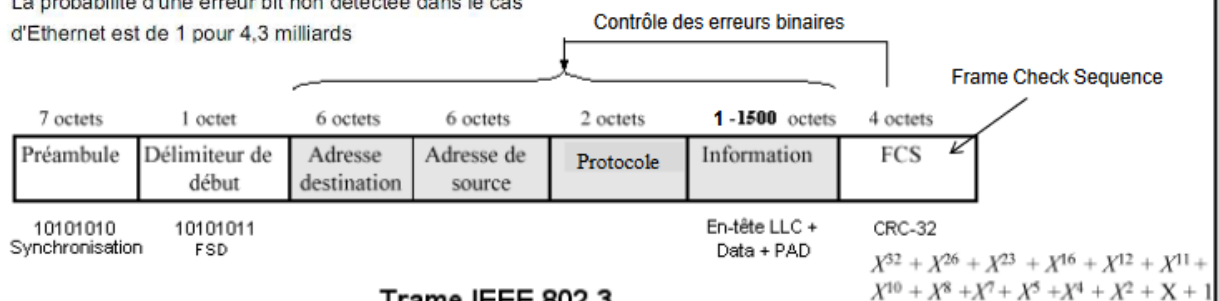
- La détection des erreurs se fait à l'aide du polynôme générateur

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^5 + x^4 + x^2 + 1.$$

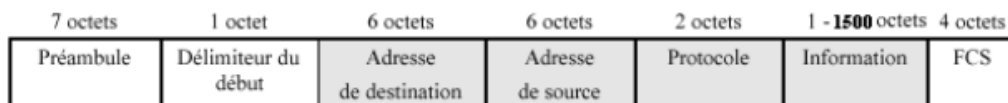
- Une trame doit **contenir obligatoirement un nombre entier d'octets**.
- Enfin, **un silence, obligatoire entre les trames**, dure 9,6 microsecondes.
- **Initialement**, dans la norme IEEE 802.3, le champ longueur devait indiquer la longueur réelle du contenu de la trame.
- **Dans la pratique**, le contenu de la trame définit implicitement sa propre longueur.
 - *Ce champ, rebaptisé **type**, s'utilise désormais pour indiquer à quel protocole appartiennent les données encapsulées dans la trame.*
 - Par exemple, il peut prendre (en hexadécimal) les valeurs suivantes :
 - 0800 (protocole IP),
 - 0806 (protocole ARP),
 - 0835 (protocole RARP).

FORMAT TRAME ETHERNET 802.3

La probabilité d'une erreur bit non détectée dans le cas d'Ethernet est de 1 pour 4,3 milliards



Trame IEEE 802.3



- 0800 IP
- 0806 ARP
- 6000 à 6009 DEC (6004 LAT)
- 8019 DOMAIN (Apollo)
- 8038 DEC LANBridge management

Rappels : Structure d'une trame **Ethernet**

Destination (6)	Source(6)	Type(2)	Données(n)
-----------------	-----------	---------	------------

Type (0800 IP, 0806 ARP, 00c0 PPP)

Rappels : Structure d'un paquet **ARP** :

Type mat.	Protocole	T. mat	T. prot	OP	Adr. Mac émetteur.	Adr. IP émetteur	Adr. Mac destinataire.	Adr. IP Destinataire
(2)	(2)	(1)	(1)	(2)	(6)	(4)	(6)	(4)

OP (0001 requête, 0002 réponse)

Soient les suites hexadécimales ci-dessous correspondant à la capture de deux trames de réseaux local Ethernet par un logiciel sniffer.

Les octets de préambules ne sont pas représentés.

Trame n°1 :

```
FF FF FF FF FF FF 08 00 20 02 45 9E 08 06 00 01 08 00 06 04 00
01 08 00 20 02 45 9E 81 68 FE 06 00 00 00 00 00 81 68 FE 05
```

Trame n°2 :

```
08 00 20 02 45 9E 08 00 20 07 0B 94 08 06 00 01 08 00 06 04 00
02 08 00 20 07 0B 94 81 68 FE 05 08 00 20 02 45 9E 81 68 FE 06
```

Question 1

Préciser les valeurs et les significations des différents champs des trames échangées.

Adresse Ethernet de destination : diffusion
[adresses MAC]

Adresse Ethernet de SOURCE
[adresses MAC]

Type

la trame Ethernet encapsule un paquet ARP

0806 (protocole ARP)

Rappels : Structure d'une trame **Ethernet**

Destination (6)	Source(6)	Type(2)	Données(n)
-----------------	-----------	---------	------------

Type (0800 IP, 0806 ARP, 00c0 PPP)

Trame n°1 :

FF FF FF FF FF FF 08 00 20 02 45 9E 08 06 00 01 08 00 06 04 00
01 08 00 20 02 45 9E 81 68 FE 06 00 00 00 00 00 81 68 FE 05

Rappels : Structure d'un paquet **ARP** :

Type mat. (2)	Protocole (2)	T. mat (1)	T. prot (1)	OP (2)	Adr. Mac émetteur. (6)	Adr. IP émetteur (4)	Adr. Mac destinataire. (6)	Adr. IP Destinataire (4)
---------------	---------------	------------	-------------	--------	------------------------	----------------------	----------------------------	--------------------------

OP (0001 requête, 0002 réponse)

Hlen : la longueur de l'adresse physique
= 6 octets pour Ethernet

Trame n°1 :

FF FF FF FF FF FF 08 00 20 02 45 9E 08 06 00 01 08 00 06 04 00
01 08 00 20 02 45 9E 81 68 FE 06 00 00 00 00 00 81 68 FE 05

Hardware : le type d'interface pour laquelle l'émetteur cherche une réponse est Ethernet

Protocol : l'adresse logique est de type IP

0800 (protocole IP),

Operation : le paquet est une requête
ARP

Plen : la longueur de l'adresse de protocole = 4 octets pour IP

Target HA : mis à 0 dans la requête puisque c'est l'inconnue !

Sender HA : l'adresse Ethernet de l'émetteur

Sender IA : l'adresse Ip de l'émetteur

Target IA : l'adresse IP de la station pour laquelle l'émetteur souhaite obtenir l'adresse Ethernet

Adresse Ethernet de destination
[adresses MAC]

Adresse Ethernet de SOURCE
[adresses MAC]

Type
la trame Ethernet encapsule un paquet ARP
0806 (protocole ARP)

Rappels : Structure d'une trame Ethernet

Destination (6)	Source(6)	Type(2)	Données(n)
-----------------	-----------	---------	------------

Type (0800 IP, 0806 ARP, 00c0 PPP)

Trame n°2 :

08 00 20 02 45 9E 08 00 20 07 0B 94 08 06 00 01 08 00 06 04 00
02 08 00 20 07 0B 94 81 68 FE 05 08 00 20 02 45 9E 81 68 FE 06

Rappels : Structure d'un paquet ARP :

Type mat. (2)	Protocole (2)	T. mat (1)	T. prot (1)	OP (2)	Adr. Mac émetteur. (6)	Adr. IP émetteur (4)	Adr. Mac destinataire. (6)	Adr. IP Destinataire (4)
------------------	------------------	---------------	----------------	-----------	---------------------------	-------------------------	-------------------------------	-----------------------------

OP (0001 requête, 0002 réponse)

Hlen : la longueur de l'adresse physique
= 6 octets pour Ethernet

Trame n°2 :

08 00 20 02 45 9E 08 00 20 07 0B 94 08 06 00 01 08 00 06 04 00
02 08 00 20 07 0B 94 81 68 FE 05 08 00 20 02 45 9E 81 68 FE 06

Hardware : le type d'interface pour laquelle l'émetteur
cherche une réponse est Ethernet

Protocol : l'adresse logique est de type IP

0800 (protocole IP),

Operation : le paquet est une **réponse**
ARP

Plen : la longueur de l'adresse de
protocole = 4 octets pour IP

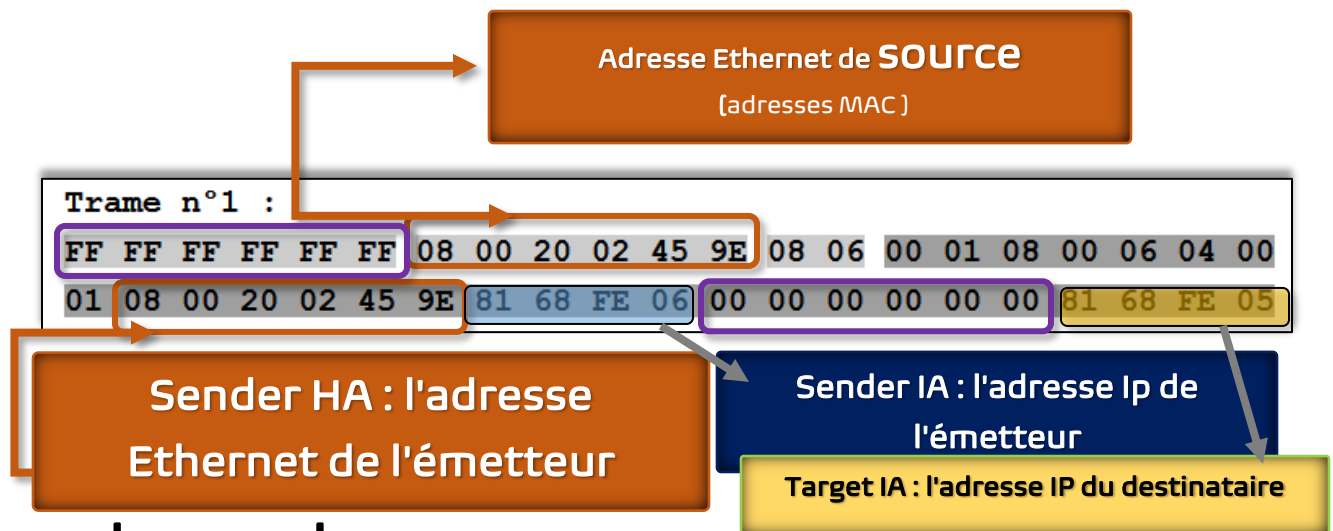
Sender HA : l'adresse Ethernet de l'émetteur

Target HA : l'adresse Ethernet du
destinataire

Sender IA : l'adresse Ip de l'émetteur

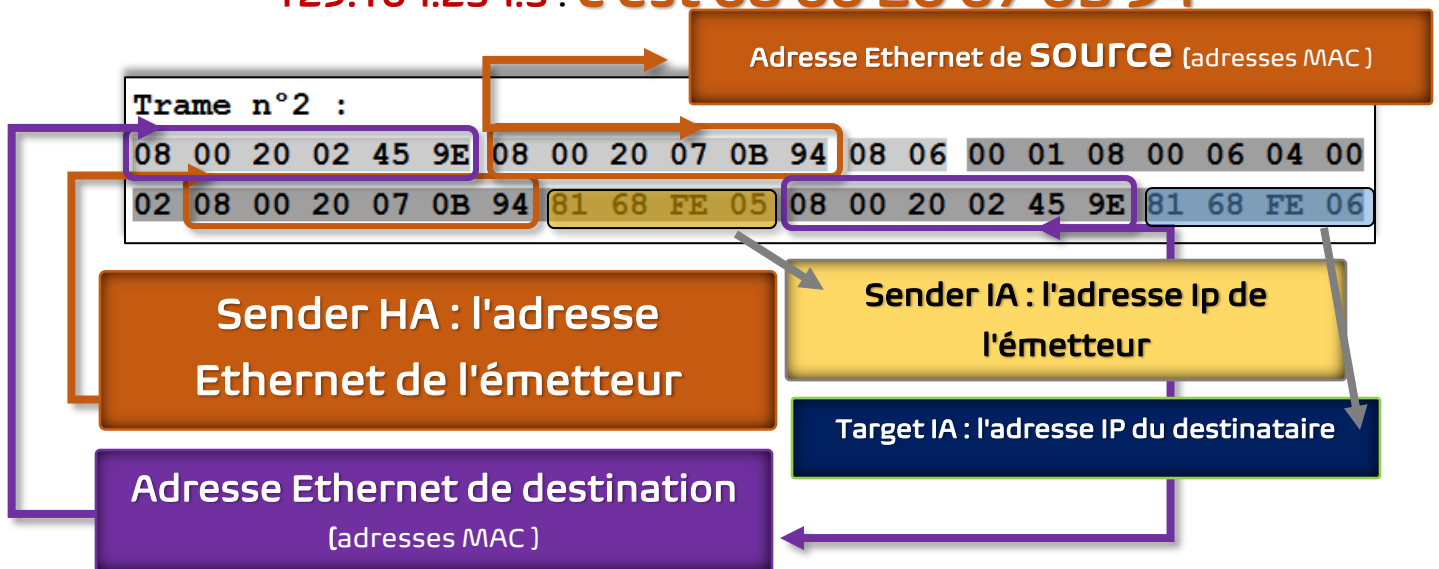
Target IA : l'adresse IP du
destinataire

La machine d'adresse IP 129.104.254.6 (classe B) et d'adresse Ethernet 08 00 20 02 45 9E



demande l'adresse Ethernet de la machine d'adresse IP

129.104.254.5 : c'est 08 00 20 07 0B 94



Convert IP Address to Hex Format

<https://www.browserling.com/tools/ip-to-hex>

129.104.254.6	81.68.fe.06 (0x8168fe06)
129.104.254.5	81.68.fe.05 (0x8168fe05)

Question 2

Que représente la valeur « FF FF FF FF FF FF » ?
Quand a-t-on besoin de l'utiliser ?

FF FF FF FF FF FF représente une adresse Ethernet particulière, appelée **adresse de diffusion**, ou adresse **broadcast**.

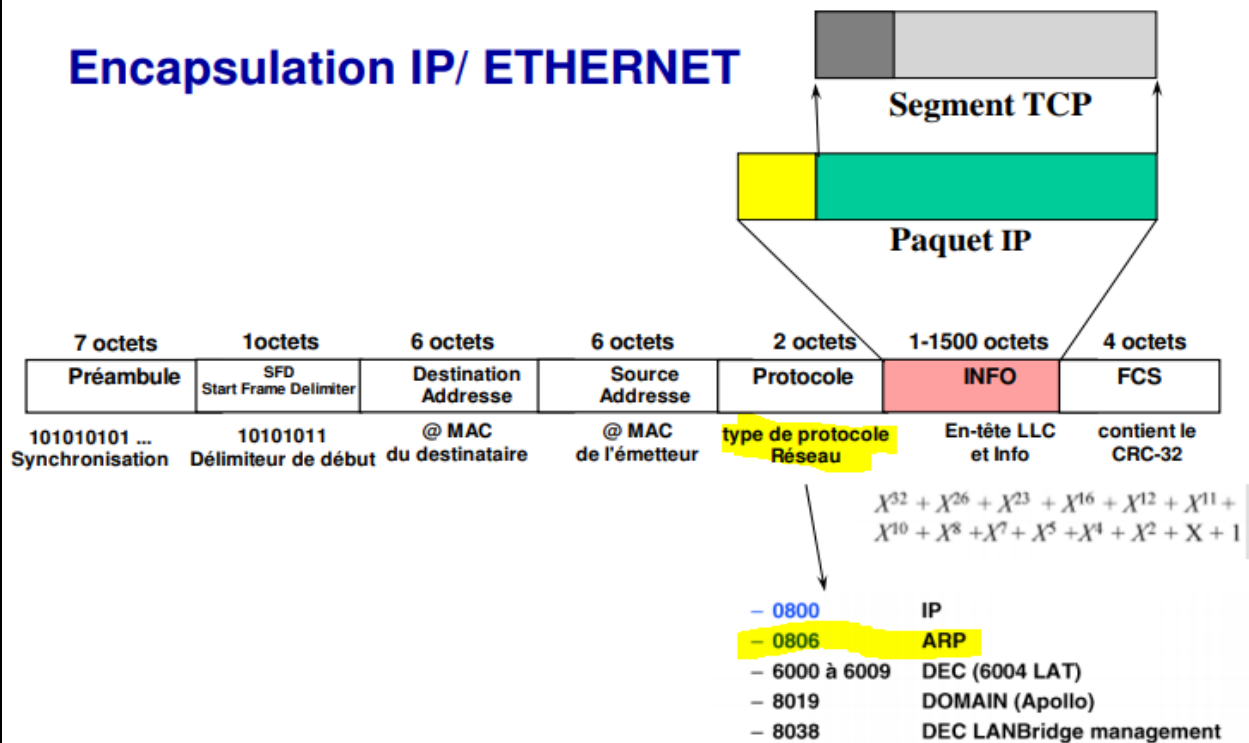
- Le Broadcast désigne une méthode de transmission de données à l'ensemble des machines d'un même réseau.
- L'adresse Ethernet de broadcast ne peut donc être utilisée que comme adresse de destination.
- Les stations l'utilisent pour envoyer des informations ou des requêtes à toutes les autres stations dans le même segment de réseau local sans se préoccuper du nombre exact de stations, ni de leur adresse Ethernet respective.
- Plusieurs mécanismes ou protocoles l'utilisent, notamment DHCP pour la configuration des machines, ou ARP pour la résolution d'adresses (voir ci-dessous ARP).

Question 3

A quoi sert le protocole ARP (Adress Resolution Protocol) ?
Donner un sens à ces échanges de trames.

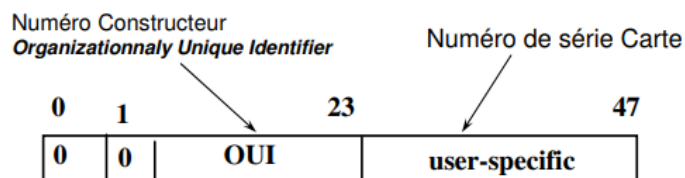
FORMAT TRAME ETHERNET 802.3

Encapsulation IP/ ETHERNET



ADDRESSE UNIVERSELLE MAC 802 (2) - Résolution d'adresses (ARP) -

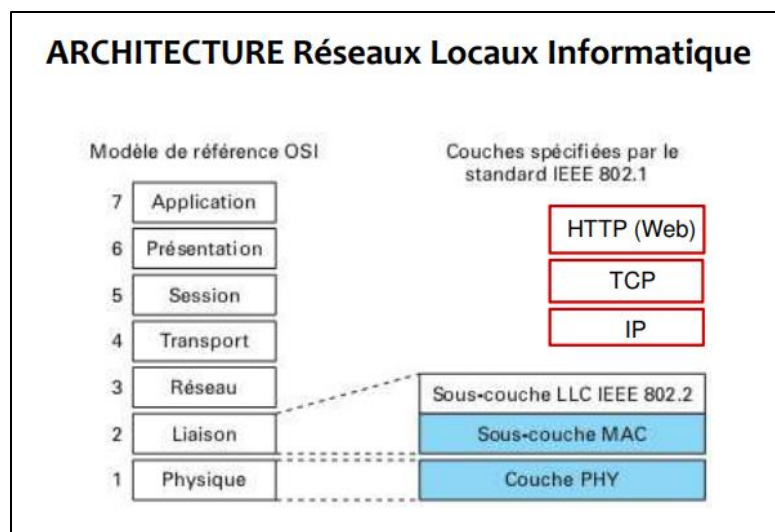
- 00:00:0C:XX:XX:XX : Cisco
- 08:00:20:XX:XX:XX : Sun
- 08:00:09:XX:XX:XX : HP
- 08:00:14:XX:XX:XX : Excelan



- ♦ Le protocole ARP (Adress Resolution Protocol) permet aux stations d'un RLI de trouver automatiquement l'adresse MAC d'une station distante en ne connaissant que son adresse IP.

L'Address resolution protocol (ARP, protocole de résolution d'adresse)

- Un protocole effectuant la traduction d'une adresse de protocole de couche réseau (typiquement une adresse IPv4) en une adresse de réseau local (typiquement une adresse Ethernet), ou même de tout matériel de couche de liaison.
- Il a été défini dans la RFC 826 : An Ethernet Address Resolution Protocol.
- Il est nécessaire au fonctionnement d'IPv4.



- La station d'@ 00 60 08 61 04 7b souhaite transmettre des données IP à une autre station dont elle ignore l'adresse Ethernet (physique).
 - Elle ne connaît que son adresse IP (. Pour y parvenir elle « diffuse » (broadcast FF FF FF FF FF FF) une trame de type ARP requête (OP : 0001) pour obtenir cette information.
 - La station qui reconnaît son adresse IP dans la requete ARP, réponds et informe la station émettrice qui peut à présent transmettre des données en direct.

Exercice 4

Simulation de l'algorithme CSMA/CD

CSMA/CD : La méthode d'accès des réseaux Ethernet, est la plus connue et la plus utilisée.

Techniques d'accès au support

- Les réseaux locaux nécessitent un partage du support – donc de sa bande passante utile – entre les différents utilisateurs.
- Les constructeurs informatiques ont proposé de nombreuses techniques d'accès regroupées en deux grandes familles :
 - Les unes à **accès aléatoire**.
 - Les autres à **accès déterministe**.

Dans les **techniques à accès aléatoire**, chaque équipement émet ses données sans se soucier des besoins des autres. Plusieurs variantes sont fondées sur ce principe.

Dans les **techniques déterministes**, l'accès au support se fait à tour de rôle. L'accès est soit fixé a priori (indépendamment de l'activité des équipements), soit dynamiquement (en fonction de leur activité).

Techniques d'accès aléatoire

- Les méthodes d'accès aléatoire portent le nom générique de **CSMA** (Carrier Sense Multiple Access).
- Elles sont bien adaptées à la topologie en bus et exploitent la très faible distance entre les équipements.
- Quand un équipement a une trame à émettre,
 - Il se met à **l'écoute** du support
 - Attend que celui-ci soit libre avant de commencer la transmission.

« **Écouter** » revient à mesurer la puissance du signal reçu.

- Le rapport signal/bruit garantit qu'on sait faire la différence entre un signal de données et un simple bruit sur le support.
- Le support est libre si on ne détecte pas de signal transportant une donnée.

- Du fait des temps de propagation non nuls, un équipement peut provoquer une collision, même s'il a écouté au préalable et n'a rien entendu : plus le délai est grand et plus le risque de collision augmente.

Collision - Lorsque deux stations émettent simultanément, leurs signaux se superposent et chaque émetteur ne reconnaît plus son message sur le support.

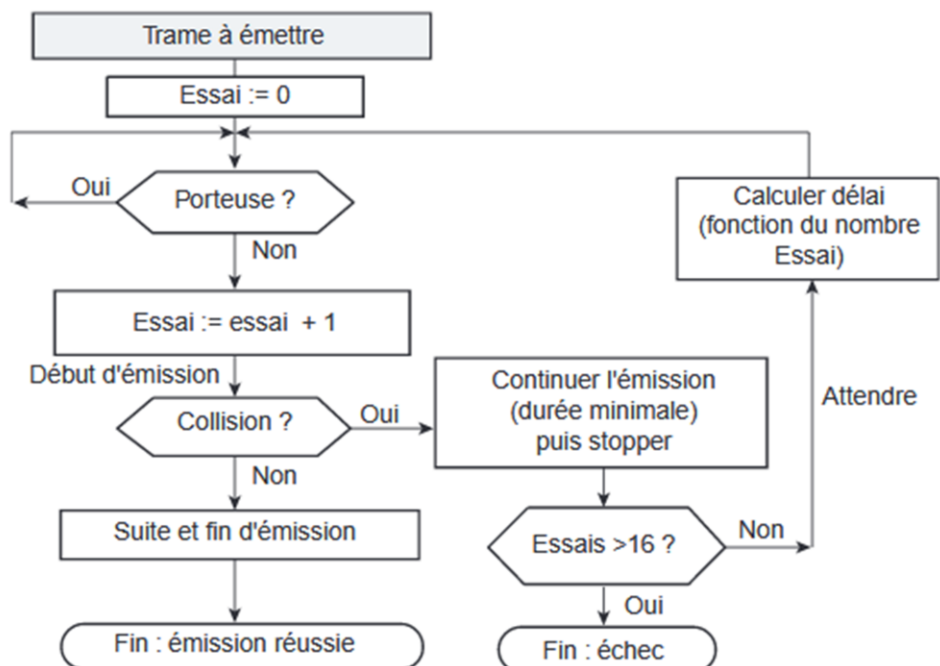
Il existe différentes variantes de ce mécanisme.

La plus classique est normalisée sous le nom IEEE 802.3 : CSMA/CD (CSMA with Collision Detection).

L'originalité de ce mécanisme est que

- L'équipement continue d'écouter le support de transmission après le début de son émission.
- Il arrête d'émettre, après un très bref délai, s'il détecte une collision.
- Le temps d'écoute pendant l'émission est limité à quelques micro-secondes (il représente le temps de propagation aller et retour entre les deux stations les plus éloignées).
 - La durée de la collision est ainsi réduite au strict minimum.
- La période pendant laquelle il est impossible d'éviter une collision malgré l'écoute préalable s'appelle période de vulnérabilité.
 - La longueur maximale du bus détermine la durée maximale de cette période.

Figure 5.6
Mécanisme
CSMA/CD.



Soit un réseau local Ethernet

en bus comportant 4 stations :

A,B,C et D utilisant la méthode d'accès au support CSMA/CD.

- **A l'instant $t = 0$** , la station A commence à transmettre une trame dont le temps d'émission dure 6 slots.
- **A $t=5$** , les stations B, C et D décident chacune de transmettre une trame de durée de 6 slots.

L'algorithme de reprise après collision est les suivant :

```
Procédure Reprise_après_collision (attempts : integer ; maxBackOff : integer) ;  
(attempts : compteur de tentatives de transmission)  
(maxBackOff : borne supérieure de l'intervalle de tirage)  
  
CONST  
    slotTime = 51,2 $\mu$ s ;  
    backOffLimit = 10 ;  
  
VAR  
    r, Delay : integer /*Nombre de slots d'attente avant de retransmettre*/  
  
Begin  
    {  
        if attempts = 1 then maxBackOff := 2 ;  
        else {if attempts <= backOffLimit  
then maxBackOff := maxBackOff*2;  
        else maxBackOff := 210;}  
        r := delay := int(random*maxBackOff);  
        wait (delay*slotTime);  
    }  
  
End;
```

Random()

est une fonction qui tire de manière aléatoire un nombre réel dans [0 ;1[

Int()

est une fonction qui rend la partie entière par défaut d'un réel.

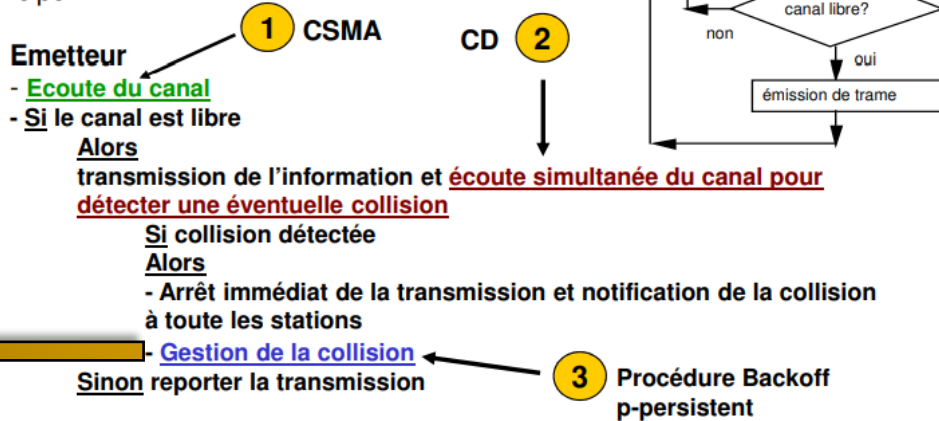
On considère que la fonction random rend respectivement les valeurs données par le tableau suivant :

Stations	A	B	C	D
1 ^{er} tirage	2/3	1/4	1/2	3/4
2 ^{ème} tirage	1/4	3/5	1/4	1/4
3 ^{ème} tirage	2/5	1/3	1/2	1/8



CSMA/CD (CSMA with Collision Detection)

- Amélioration de la méthode CSMA p-persistent :
- Principe :



ETHERNET 802.3 ALGORITHME BACKOFF (BEB)

- ♦ La procédure BACKOFF utilise 3 fonctions :
 - **random()** : tire un nombre réel aléatoire entre 0 et 1.
 - **int()** : rend la partie entière d'un réel
 - **délai()** : calcul le délai d'attente multiple d'un slot_time (51.2 microsec) et est compris entre $[0, 2^k]$.
- Avec $k = \min(n, 10)$, $n = \text{nbre de ré-émission déjà faites}$

```
Procédure BACKOFF (no_tentative : entier, VAR maxbackoff : entier)
Const slot-time=51.2 (microsecondes); limite_tentative=16;
Var delai : entier;

BEGIN
  Si (no_tentative =1)
  Alors maxbackoff =2 (borne de temps d'attente maximale)
  Sinon
    Si (tentative < limite_tentative)
    Alors maxbackoff = maxbackoff*2;
    Sinon maxbackoff = 210 (au dela de 10 essais la borne devient constante)
    fsi
  fsi
  delai := int(random() *maxbackoff)
  attendre (delai*slot_time)
END
```

ALGORITHME BACKOFF (BEB)

algorithme de reprise après collision

maxBackOff
borne supérieure de
l'intervalle de tirage

Procédure Reprise_après_collision (attempts : integer ; maxBackOff : integer) ;

CONST slotTime = 51,2 μ s ; backOffLimit = 10 ;

VAR r, Delay : integer ;

microsecondes

attempts
compteur de tentatives de
transmission

Nombre de slots d'attente avant
de retransmettre

backOffLimit
limite tentative

Begin {

if attempts = 1

Si (nb_tentative = 1)

then maxBackOff := 2 ;

borne de temps d'attente maximale

else

if attempts <= backOffLimit

Si (nb_tentative <= limite_tentative)

then maxBackOff := maxBackOff * 2 ;

else

au delà de 10 essais la borne devient
constante

maxBackOff := 2¹⁰ ;

Random()

est une fonction qui tire de manière
aléatoire un nombre réel dans [0 ; 1[

r := delay := int(random * maxBackOff) ;
wait (delay * slotTime) ;

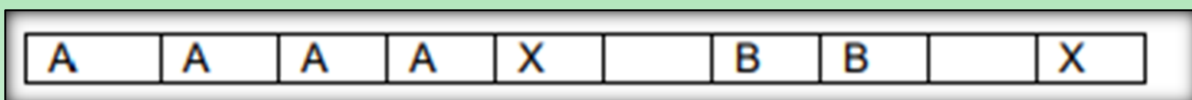
Int()

est une fonction qui rend la partie
entière par défaut d'un réel.

} End;

Dessiner un diagramme des temps gradués en slots décrivant le déroulement des différentes transmissions de trame.

On adopte la schématisation suivante :



- Un slot occupé par la transmission correcte d'une trame de la station A est notée A
- Un slot occupé par une collision est noté X.
- Un slot non occupé reste vide

Question 1

T	Slots																			
0	A	à t=0 : A émet sa trame qui occupe 6 slot-time																		
1	A	A l'instant t = 0, la station A commence à transmettre une trame dont le temps d'émission dure 6 slots.																		
2	A																			
3	A																			
4	A																			
5	A																			
Collision - Lorsque deux stations émettent simultanément, leurs signaux se superposent et chaque émetteur ne reconnaît plus son message sur le support.																				
6	X	à t=6 : collisions entre B, C et D, appel à la fonction BEB																		
		<table><tr><td>N° essai</td><td>N° Station</td><td>MaxBackOff</td><td>Random()</td><td>R = delay</td></tr><tr><td rowspan="3">1</td><td>B</td><td>2</td><td>1/4</td><td>0</td></tr><tr><td>C</td><td>2</td><td>1/2</td><td>1</td></tr><tr><td>D</td><td>2</td><td>3/4</td><td>1</td></tr></table>	N° essai	N° Station	MaxBackOff	Random()	R = delay	1	B	2	1/4	0	C	2	1/2	1	D	2	3/4	1
		N° essai	N° Station	MaxBackOff	Random()	R = delay														
		1	B	2	1/4	0														
C	2		1/2	1																
D	2		3/4	1																
7	B	à t=7 : B émet sa trame car obtient un TBEB = r = 0																		
8	B	à t=8 : C et D essaye d'emetre en écoutant le canal																		
9	B																			
10	B																			
11	B																			
12	B																			
13	X	à t=13 : collision entre C et D																		
		<table><tr><td>N° essai</td><td>N° Station</td><td>MaxBackOff</td><td>Random()</td><td>R = delay</td></tr><tr><td rowspan="2">2</td><td>C</td><td>4</td><td>1/4</td><td>1</td></tr><tr><td>D</td><td>4</td><td>1/4</td><td>1</td></tr></table>	N° essai	N° Station	MaxBackOff	Random()	R = delay	2	C	4	1/4	1	D	4	1/4	1				
		N° essai	N° Station	MaxBackOff	Random()	R = delay														
2	C	4	1/4	1																
	D	4	1/4	1																
14		à t=14 : aucune transmission sur le réseau																		
15	X	à t=15 : collision entre C et D																		
		<table><tr><td>N° essai</td><td>N° Station</td><td>MaxBackOff</td><td>Random()</td><td>R = delay</td></tr><tr><td rowspan="2">3</td><td>C</td><td>8</td><td>1/2</td><td>4</td></tr><tr><td>D</td><td>8</td><td>1/8</td><td>1</td></tr></table>	N° essai	N° Station	MaxBackOff	Random()	R = delay	3	C	8	1/2	4	D	8	1/8	1				
		N° essai	N° Station	MaxBackOff	Random()	R = delay														
3	C	8	1/2	4																
	D	8	1/8	1																
16		à t= 16 aucune transmission sur le réseau																		
17	D	à t=17 : D émet sa trame																		
18	D																			
19	D																			
20	D																			
21	D																			
22	D																			
23	C	à t=23 : émet sa trame																		
24	C																			
25	C																			
26	C																			
27	C																			
28	C	à t=28 : fin des transmissions																		

Calculer sur la période allant de $t=0$ à la fin de la transmission de la dernière trame,

Question 2

le taux d'utilisation du canal pour la transmission effective des trames

Efficacité d'un protocole

= Taux d'occupation du canal

= délai d'émission des données / Délai de transmission

= Débit utile / Débit de la ligne

E

Le taux d'utilisation de la liaison (efficacité de la liaison)

$$E = \frac{D_U}{D} = \frac{\text{débit utile}}{\text{Débit de la liaison}}$$

Débit de la liaison

$$D_U = \frac{L}{T_T} = \frac{\text{longueur du message émis}}{\text{temps de transmission totale}}$$

Donc

$$E = \frac{D_U}{D} = \frac{\left(\frac{L}{T_T}\right)}{D} = \frac{L}{D \cdot T_T}$$

Autre méthode

$$E = \frac{T_e}{T_T} = \frac{\text{Temps d'émission du message}}{\text{Temps de transmission totale}}$$

$$E = \frac{T_e}{T_T} = \frac{\text{Temps d'émission du message}}{\text{Temps de transmission totale}}$$

E = Taux d'utilisation du canal

$$= \frac{\text{Tx d'utilisation du canal}}{\text{Nbre de slots totale utilisés}} = \frac{6 \cdot 4}{29} = \frac{24}{29} = 0,827 = 82,7\%$$

$$0,827 \cdot 100 = 82,7\%$$

Question 3

Calculer le délai moyen d'accès au support. Est-il borné ?

- **Station A** : $0 - 0 = 0$
(temps A commence effectivement emission – temps A veut emettre)
- **Station B** : $7 - 5 = 2$
- **Station C** : $23 - 5 = 18$
- **Station D** : $17 - 5 = 12$

$$\frac{0 + 2 + 18 + 12}{4} = \frac{32}{4} = 8 \text{ slots}$$

Time scale

- Milliseconds: 10^{-3} sec
- Microseconds: 10^{-6} sec

$$8 * 51,2 \text{ microsec} = 409,6 \text{ microsec} = 409,6 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$$

