

Travaux dirigés 3 – LIAISON-HDLC

Couche LIAISON, Procédure HDLC

Plan Général

- 1) ARCHITECTURES DES RESEAUX, DEFINITIONS
- 2) COUCHE PHYSIQUE : MATERIELS, TRANSMISSION
- 3) COUCHE LOGICIEL : COUCHE LIAISON, PROTOCOLES HDLC

**LE MODELE ISO
7 COUCHES**

7	application
6	présentation
5	session
4	transport
3	réseau
2	liaison données
1	Physique

ISO

Tableau 2 – Couches du modèle OSI

Niveau	Nom	Fonction	Protocoles
7	Couche application	Assurer l'interface avec les applications.	HTTP, FTP, telnet, SSH, DNS
6	Couche présentation	Formater des données (leur représentation, éventuellement leur compression).	
5	Couche session	Fournir les moyens pour organiser et synchroniser les dialogues et les échanges de données.	
4	Couche transport	Transporter les données et, selon le protocole, gérer les erreurs.	TCP, UDP
3	Couche réseau	Gérer l'adressage et le routage.	IP, ICMP, IGMP, ARP
2	Couche liaison	Définir l'interface avec la carte réseau et la méthode d'accès.	Ethernet, LLC, SNAP, PPP
1	Couche physique	Convertir des données en signaux numériques.	Ethernet, 802.3, 802.5 (token ring), 802.11 (wireless)

Couche Liaison de données : Objectifs

- Communication (fiable et efficace) entre deux machines adjacentes
 - deux machines physiquement connectées par un canal de transmission
 - La couche liaison récupère des paquets de la couche réseau.
 - Pour chaque paquet, elle construit une (ou plusieurs) trame(s).
 - La couche liaison envoie chaque trame à la couche physique.
- Liaisons de transmission ne sont pas parfaites :
 - Débit binaire limité, le délai de propagation est non nul, il peut y avoir des erreurs de transmission
- **Cette couche doit assurer une transmission exempte d'erreurs sur un canal de communication.**
- **Elle doit aussi assurer un délivrance ordonnée des informations**

Exercice 1

Contrôle de flux et Efficacité d'une liaison

Couche Liaison de données : Services offerts

- Gestion (délimitation) de trames
- Contrôle d'erreurs
- Contrôle de flux
- Contrôle d'accès à un canal partagé (MAC)

1000	10^3	kbit	kilobit
1000^2	10^6	Mbit	megabit
1000^3	10^9	Gbit	gigabit
1000^4	10^{12}	Tbit	terabit
1000^5	10^{15}	Pbit	petabit
1000^6	10^{18}	Ebit	exabit
1000^7	10^{21}	Zbit	zettabit
1000^8	10^{24}	Ybit	yottabit

La milliseconde est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

Un canal a

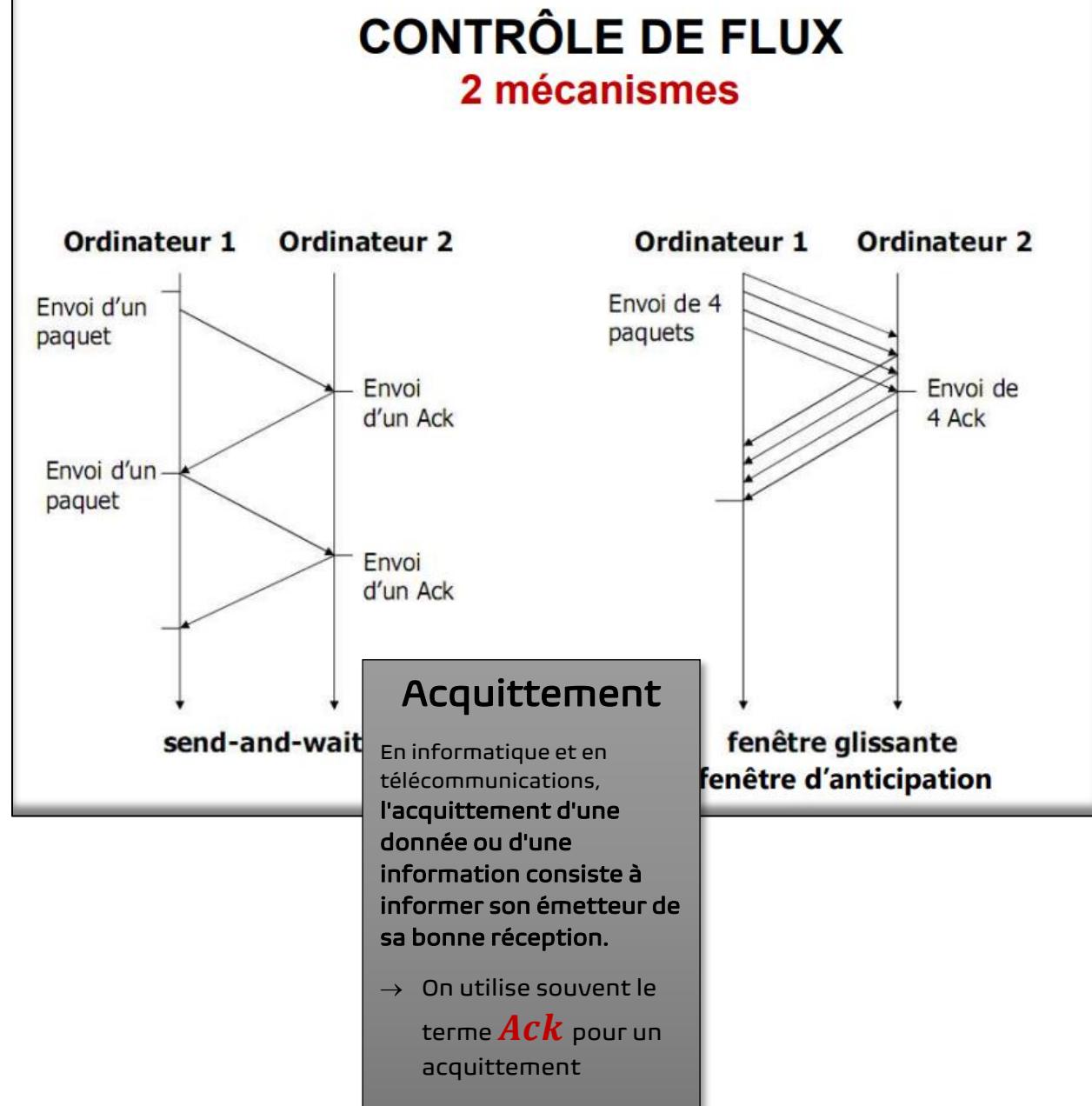
- Un débit de 2 Mbit/s (**D**)
- Un délai de propagation de 20 ms (**T_P**)
- Une vitesse de propagation sur le support de 260 000 Km/s. (**V**)

On utilise un protocole de type « envoyer et attendre ».

On suppose que le temps de traitement d'une trame est négligeable.

On supposera que la longueur d'un acquittement (**Lacq**) est de 100 octets (entête inclus).

CONTRÔLE DE FLUX 2 mécanismes



Question a

Quelle est la longueur de la liaison (d) ?

DELAIS

Soit :

- | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| • C: Capacité/Débit de la ligne (bit/s) | d: distance de propagation (m) |
| • L: Longueur de la trame (bits) | L' : Longueur de l'acquittement (bits) |
| • V : vitesse du support (m/s) | |

$$T_e: \text{délai d'émission de la trame} = L / C$$

$$T_p: \text{délai de propagation de la trame} = d / V$$

Tps de propagation = Longueur Liaison / Vitesse de propagation sur le média

$$= d/V$$

$$T_p = \frac{d}{V} \Leftrightarrow T_p \cdot V = d$$

$$d = T_p \cdot V$$

T_p

Délai/temps de propagation

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

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

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

A.N

(= Application numérique)

Un canal à

- Un débit de 2 Mbit/s (**D**)
- Un délai de propagation de 20 ms (**T_p**)
- Une vitesse de propagation sur le support de 260 000 Km/s. (**V**)

$$T_p = 20ms = \frac{20}{1000} = \frac{2}{100} = 0,02\ s$$

$$d = T_p \cdot V = 0,02 \times 260\ 000 = 5\ 200\ Km$$

La milliseconde

est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

Quelle taille de trames permet d'obtenir une efficacité de 50% (L_m) ?

Question b

Méthode 1

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

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

L : Longueur de la trame (bits)

longueur du message émis

Donc

L : Longueur de la trame (bits)

longueur du message émis

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

Temps de transmission totale (message et Acquittement)

$$E = \frac{L}{D \cdot T_T}$$

Débit (nominal) de la liaison

équivalent à la capacité du canal de communication

T' ou T_T

Temps de transmission totale (message et Acquittement)

$$T_e = \frac{L}{D}$$

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

Acquittement

En informatique et en télécommunications, l'acquittement d'une donnée ou d'une information consiste à informer son émetteur de sa bonne réception.

→ On utilise souvent le terme **Ack** pour un acquittement

$$T_e = \underbrace{\text{Temps d'émission du message}}_{T'e} + \underbrace{\text{Temps de propagation du message}}_{T'p}$$

$$+ \underbrace{\frac{\text{Temps d'émission ACK}}{\text{délai d'émission de l'acquittement}}}_{T'e} + \underbrace{\frac{\text{Temps de propagation ACK}}{\text{délai de propagation de l'ACK}}}_{T'p}$$

$$T'e = \frac{L'}{D}$$

$$= \frac{\text{Longueur de l'acquittement (bits)}}{\text{Capacité/Débit de la ligne (bit/s)}}$$

$$T'p = Tp$$

$$= T_e \text{ trame} + Tp + T_e \text{ ACK} + Tp$$

$$= \frac{L}{D} + \frac{L'}{D} + 2Tp = \frac{L + L'}{D} + 2Tp$$

$$= \frac{L + L'}{D} + \frac{2Tp \cdot D}{D} = \frac{(L + L') + 2Tp \cdot D}{D}$$

$$T_T = \frac{(L + L') + 2Tp \cdot D}{D}$$

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

$$\Rightarrow D_U = \frac{L}{(L + L') + 2Tp \cdot D}$$

$$= \frac{L \cdot D}{(L + L') + 2Tp \cdot D}$$

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

$$\Rightarrow E = \frac{D_U}{D} = \frac{L \cdot D}{(L + L') + 2Tp \cdot D}$$

$$= \frac{L \cdot D}{D((L + L') + 2Tp \cdot D)}$$

$$= \frac{L}{(L + L') + 2Tp \cdot D}$$

$$Soit E = \frac{L}{(L + L') + 2Tp \cdot D} > 0,5$$

$$Soit L > 0,5((L + L') + 2Tp \cdot D)$$

$$L > 0,5L + 0,5L' + 0,5 \cdot 2Tp \cdot D$$

$$L > \frac{1}{2} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot L' + \frac{1}{2} \cdot 2Tp \cdot D$$

$$L > \frac{1}{2} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot L' + Tp \cdot D$$

$$L - \frac{1}{2} \cdot L > \frac{1}{2} \cdot L' + Tp \cdot D$$

$$\frac{1}{2} \cdot L > \frac{1}{2} \cdot L' + Tp \cdot D$$

$$L > L' + 2 \cdot Tp \cdot D$$

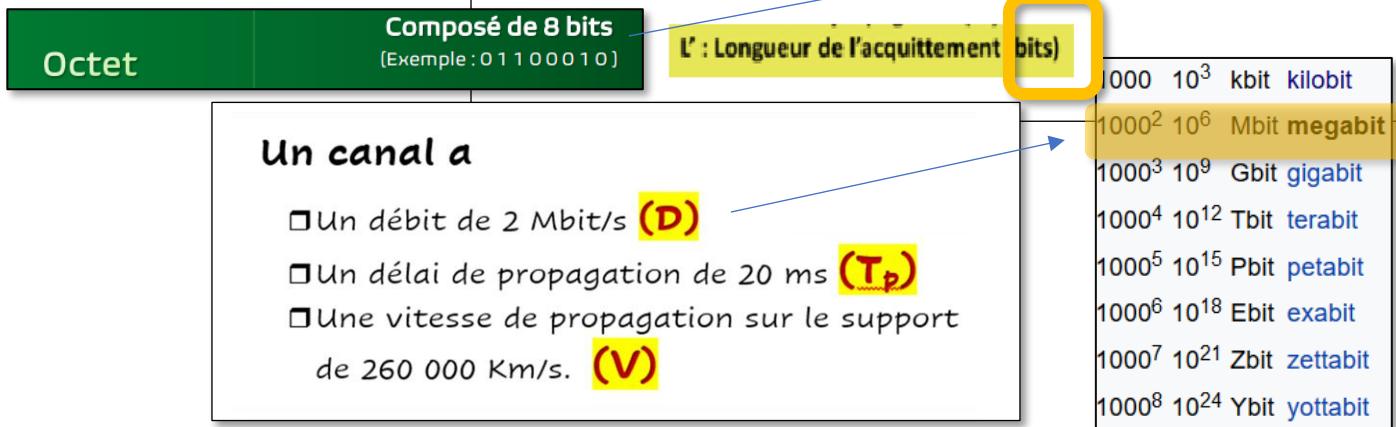
A.N

(= Application numérique)

$$L > L' + 2 \cdot T_p \cdot D$$

$$L > 100 \cdot 8 + 2 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot 10^6$$

On supposera que la longueur d'un acquittement (**L_{acq}**) est de 100 octets (entête inclus).



$$L > 800 + 4 \cdot 0,02 \cdot 10^6$$

$$L > 800 + 4 \cdot \frac{2}{100} \cdot 10^{4+2}$$

$$L > 800 + 4 \cdot \frac{2}{100} \cdot 10^2 \cdot 10^4$$

$$L > 800 + 4 \cdot \frac{2}{100} \cdot 100 \cdot 10^4$$

$$L > 800 + 4 \cdot 2 \cdot 10^4$$

$$L > 800 + 8 \cdot 10^4 = 800 + 8 \cdot 10\,000$$

$$= 800 + 80\,000$$

$$= 80\,800 \text{ bits}$$

$$= \frac{80\,800}{8}$$

$$= 10\,100 \text{ octets}$$

$$= \frac{10\,100}{1024} = 9,86 \text{ Ko}$$

1 Kilooctet (Ko) = 2^{10} octets = 1024 octets

La longueur de la trame doit être > à 9,86 Ko

Methode 2

Autre formule

$$E = \frac{Te}{T_T} = \frac{\text{Temps émission de la trame de données}}{\text{Temps de transmission total (trame et acquittement)}}$$

T' ou T_T

**Temps de transmission totale
(message et Acquittement)**

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

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

Acquittement

En informatique et en télécommunications, l'acquittement d'une donnée ou d'une information consiste à informer son émetteur de sa bonne réception.

→ On utilise souvent le terme **Ack** pour un acquittement

$$T_T = \frac{Te}{\text{Temps d'émission du message}} + \frac{Tp}{\text{Temps de propagation du message}}$$

$$+ \frac{\text{Temps d'émission ACK}}{\text{délai d'émission de l'acquittement}} + \frac{\text{Temps de propagation ACK}}{\text{délai de propagation de l'ACK}}$$

$$T'e \qquad \qquad \qquad T'p$$

$$T'e = \frac{L'}{D}$$

$$= \frac{\text{Longueur de l'acquittement (bits)}}{\text{Capacité/Débit de la ligne (bit/s)}}$$

$$T'p = Tp$$

$$T_T = Te \text{ trame} + Tp + Te \text{ ACK} + Tp$$

$$= Te \text{ trame} + 2Tp + Te \text{ ACK}$$

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

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

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

$$T'e = \frac{L'}{D}$$

$= \frac{\text{Longueur de l'acquittement (bits)}}{\text{Capacité/Débit de la ligne (bit/s)}}$

$$T_T = Te \text{ trame} + 2Tp + Te ACK$$

$$= \frac{L}{D} + 2\frac{d}{V} + \frac{L'}{D}$$

$$E = \frac{Te}{T_T} = \frac{\left(\frac{L}{D}\right)}{\left(\frac{L}{D} + 2\frac{d}{V} + \frac{L'}{D}\right)} > 0,5$$

$$\frac{v \left(\frac{L}{D}\right)}{v \left(\frac{L}{D} + 2\frac{d}{V} + \frac{L'}{D}\right)} > 0,5$$

$$\frac{\frac{v \cdot L}{v \cdot D}}{\frac{v \cdot L}{v \cdot D} + 2\frac{v \cdot d}{v \cdot V} + \frac{v \cdot L'}{v \cdot D}} > 0,5$$

$$\frac{\frac{v \cdot L}{v \cdot D}}{\frac{v \cdot L}{v \cdot D} + \frac{2d}{V} + \frac{v \cdot L'}{v \cdot D}} > 0,5$$

$$\frac{\frac{v \cdot L}{v \cdot D}}{\frac{v \cdot L}{v \cdot D} + \frac{2d \cdot D}{V \cdot D} + \frac{v \cdot L'}{v \cdot D}} > 0,5$$

$$\frac{\frac{v \cdot L}{v \cdot D}}{\frac{v \cdot L + 2d \cdot D + v \cdot L'}{v \cdot D}} > 0,5$$

$$\frac{\frac{v \cdot L}{v \cdot D}}{\frac{v \cdot L + 2d \cdot D + v \cdot L'}{v \cdot D}} > 0,5$$

$$\frac{v \cdot L}{v \cdot D} \cdot \frac{v \cdot D}{v \cdot L + 2d \cdot D + v \cdot L'} > \frac{1}{2}$$

$$\frac{v \cdot L}{v \cdot L + 2d \cdot D + v \cdot L'} > \frac{1}{2}$$

$$2v \cdot L > v \cdot L + 2d \cdot D + v \cdot L'$$

$$2v \cdot L - v \cdot L > +2d \cdot D + v \cdot L'$$

$$v \cdot L > 2d \cdot D + v \cdot L'$$

$$L > \frac{2d \cdot D}{v} + \frac{v \cdot L'}{v}$$

$$L > \frac{2d \cdot D}{v} + L'$$

$$L > \frac{2d \cdot D}{v} + L'$$

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

$$L > 2Tp \cdot D + L'$$

A.N

(= Application numérique)

La milliseconde est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

Octet

$$L > 2Tp \cdot D + L'$$

On supposera que la longueur d'un acquittement (**L_{acq}**) est de 100 octets (entête inclus).

Composé de 8 bits
(Exemple : 01100010)

L' : Longueur de l'acquittement (bits)

Un canal a

- Un débit de 2 Mbit/s (**D**)
- Un délai de propagation de 20 ms (**T_p**)
- Une vitesse de propagation sur le support de 260 000 Km/s. (**v**)

1000	10^3	kbit	kilobit
1000^2	10^6	Mbit	megabit
1000^3	10^9	Gbit	gigabit
1000^4	10^{12}	Tbit	terabit
1000^5	10^{15}	Pbit	petabit
1000^6	10^{18}	Ebit	exabit
1000^7	10^{21}	Zbit	zettabit
1000^8	10^{24}	Ybit	yottabit

$$L > 2 \cdot Tp \cdot D + L'$$

$$L > 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^6 + 100 \cdot 8$$

$$L > 2 \cdot 20 \cdot \frac{1}{10^3} \cdot 2 \cdot 10^6 + 100 \cdot 8$$

$$L > 2 \cdot 20 \cdot \frac{1}{1000} \cdot 2 \cdot 10^{3+3} + 100 \cdot 8$$

$$L > 2 \cdot 20 \cdot \frac{1}{1000} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10^3 + 100 \cdot 8$$

$$L > 2 \cdot 20 \cdot \frac{1}{1000} \cdot 2 \cdot 1000 \cdot 1000 + 100 \cdot 8$$

$$L > 2 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 1000 + 100 \cdot 8$$

$$L > 4 \cdot 20 \cdot 1000 + 800$$

$$L > 80 \cdot 1000 + 800$$

$$L > 80\ 000 + 800 = 80\ 800 \text{ bits}$$

$$= \frac{80\ 800}{8} = 10\ 100 \text{ octets} = \frac{10\ 100}{1024} = 9,86 \text{ Ko}$$

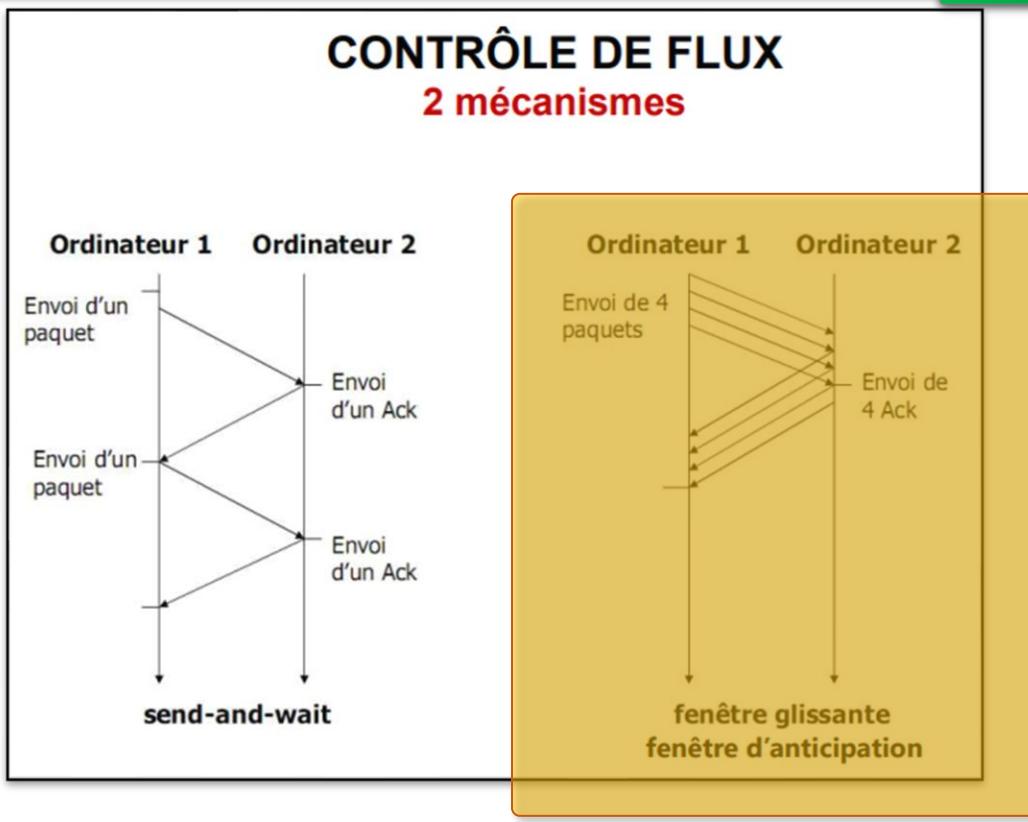
1 Kilooctet (Ko) = 2^{10} octets = 1024 octets

La longueur de la trame doit être > à 9,86 Ko

On décide de fixer la taille de la trame L_m à 128 octets (en-tête inclus) et d'utiliser le mécanisme par fenêtre glissante de largeur n (W).

Déterminer n pour obtenir une efficacité optimale de 100% ?

Question c



- ❑ On autorise l'émission (resp. la réception) de plusieurs trames d'information consécutives sans attendre l'acquittement de la première (resp. avant d'envoyer l'acquittement).
 - on remarque que la source et le puits émettent et reçoivent simultanément
 - que la liaison est utilisée de manière bidirectionnelle

Transmission avec fenêtre d'anticipation (3/3)

□ Le nombre maximum de trames consécutives que l'on peut ainsi émettre (resp. recevoir) est la **largeur de la fenêtre d'anticipation** d'émission (resp. de réception).

- Dans l'exemple : la largeur $W \geq 3$

Pour que la capacité de la liaison de données soit totalement utilisée il faut que :

- $W * L \geq T_{a/r} * D$
 - L étant la longueur moyenne d'une trame, $T_{a/r}$ la durée d'aller/retour et D le débit nominal de la liaison.

Pour que la capacité de la liaison de données soit totalement utilisée il faut que :

- $W * L \geq T_{a/r} * D$

$T_{a/r} = La\ durée\ d'aller + retour$

$T_{a/r} = T_{ps} \text{ (temps) propagation 1ere trame}$

+ $T_{ps} \text{ emission acquittement} + T_{ps} \text{ de propagation acquittement}$

T_p

$T_{a/r} = \overbrace{T_{ps} \text{ de propagation du message}}$

+ $\underbrace{\frac{T_{ps} \text{ d'émission ACK}}{\text{délai d'émission de l'acquittement}} + \frac{T_{ps} \text{ de propagation ACK}}{\text{délai de propagation de l'ACK}}}$

$T'e$

$T'p$

$$T'e = \frac{L'}{D}$$

$$= \frac{\text{Longueur de l'acquittement (bits)}}{\text{Capacité/Débit de la ligne (bit/s)}}$$

$$T'p = Tp$$

$$T_{a/r} = 2Tp + Te \text{ acquittement}$$

$$n \cdot L \geq T_{a/r} \cdot D$$

A.N

(= Application numérique)

$$\begin{aligned} n &\geq \frac{T_{a/r} \cdot D}{L} = \frac{D(2Tp + T'e)}{L} = \frac{D\left(2Tp + \frac{L'}{D}\right)}{L} = \frac{2 \cdot D \cdot Tp + L'}{L} \\ n &\geq \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-3} + 100 \cdot 8}{128 \cdot 8} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 20 + 800}{128 \cdot 8} \\ &= \frac{80 \cdot 1000 + 800}{128 \cdot 8} = \frac{80800}{1024} = 78,9 \end{aligned}$$



La milliseconde est une fraction d'une seconde, correspondant à un millième de celle-ci.

Une seconde est donc composée de mille millisecondes.

Le symbole de la milliseconde s'écrit **ms** dans la plupart des pays.

Octet

Composé de 8 bits
(Exemple : 01100010)

On supposera que la longueur d'un acquittement (**L_{acq}**) est de 100 octets (entête inclus).

L' : Longueur de l'acquittement (bits)

Un canal a

- Un débit de 2 Mbit/s (**D**)
- Un délai de propagation de 20 ms (**T_p**)
- Une vitesse de propagation sur le support de 260 000 Km/s. (**V**)

1000	10^3	kbit
1000^2	10^6	Mbit megabit
1000^3	10^9	Gbit gigabit
1000^4	10^{12}	Tbit terabit
1000^5	10^{15}	Pbit petabit
1000^6	10^{18}	Ebit exabit
1000^7	10^{21}	Zbit zettabit
1000^8	10^{24}	Ybit yottabit

On décide de fixer la taille de la trame **L_m** à 128 octets (en-tête inclus)

Quelle sera la longueur minimale (en bits) du champ numérotation de trames pour la question c) ?

Question d

La fenêtre d'anticipation est de 78 trames de 128 octets chaque.

On décide de fixer la taille de la trame L_m à 128 octets (en-tête inclus)

Le champ de numérotation de trames HDLC sur 3 bits est insuffisant.

De même que le champ de numérotation étendue sur 6 bits.

Il faut en effet un champ N(S) sur 7 bits au minimum pour réaliser une numérotation des trames modulo 78.

Par conséquent la numérotation peut se faire modulo 62 au mieux.

Dans ce contexte, pour améliorer l'efficacité de la liaison, il faut agrandir la taille des trames à 256 octets.

Exercice 2

Couche Liaison et Procédure HDLC

Un protocole de liaison

Un protocole de liaison de données peut offrir plusieurs services suivant la qualité de la transmission :

- Service sans acquittement ni connexion ni contrôle de flux lorsqu'il est nécessaire d'avoir un protocole très simple ou lorsque le support de transmission est d'excellente qualité,
- Service avec acquittement mais sans connexion ni contrôle de flux qui permet de fiabiliser un peu la liaison mais n'offre pas de garantie de non duplication des messages,
- Service avec acquittement, connexion et contrôle de flux qui comporte donc une numérotation des trames et des acquittements.

Ce dernier service est le seul à offrir une réelle garantie de fiabilité, mais il est plus complexe à implanter.

De multiples protocoles de liaison de données ont été développés. Nous nous contenterons ici de la présentation détaillée d'un seul protocole : HDLC, recommandation internationale.

HDLC QU'est-ce que c'est ?

- HDLC offre un service de transfert de données fiable et efficace entre deux systèmes adjacents.
- Utilisé comme protocole de la couche Liaison de données dans les normes X.25 (du CCITT) en usage dans les réseaux publics de transmission numériques de données (TRANSPAC, par exemple).

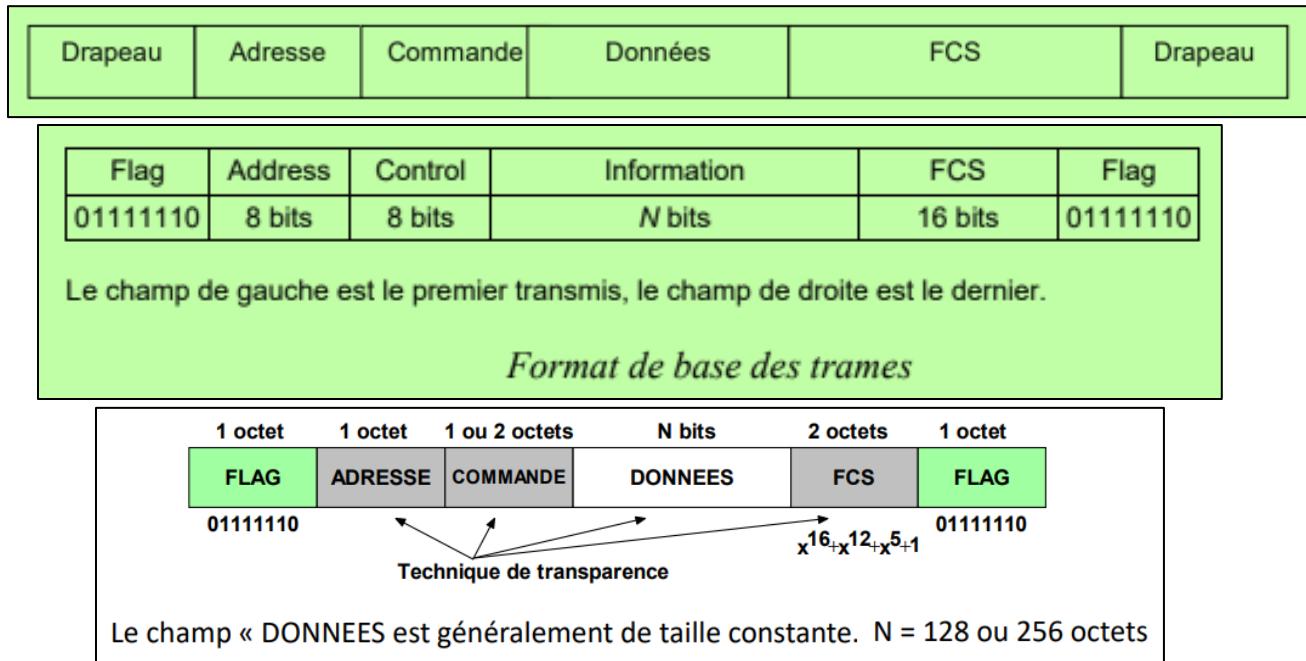
38 HDLC (High level Data Link Control)

- Repose sur la transmission synchrone orientée bit.
- Elle met en œuvre un mécanisme de transparence par fanion qui rend le protocole totalement indépendant du codage des données transportées : HDLC peut transporter des informations utilisant des codes de longueur variable.

HDLC FONCTIONS

- 1. DELIMITATION et IDENTIFICATION des trames (Protocole)**
- 2. GESTION de la liaison de données (Procédure) :**
 - Etablissement et libération de la liaison de données sur un ou plusieurs circuits physiques préalablement activées,
- 3. SUPERVISION du fonctionnement de la liaison de données selon :**
 - Le mode de transmission (synchrone ou asynchrone)
 - La nature de l'échange (simplex, half-duplex ou full-duplex)
 - Le type de liaison (point-à-point ou multipoint)
 - Le mode de l'échange (hiérarchique ou symétrique)
- 4. IDENTIFICATION de la source et du destinataire (Adressage)**
- 5. CONTROLE D'ERREURS (Procédure)**
- 6. CONTROLE DE FLUX (Procédure)**

Le format d'une trame HDLC



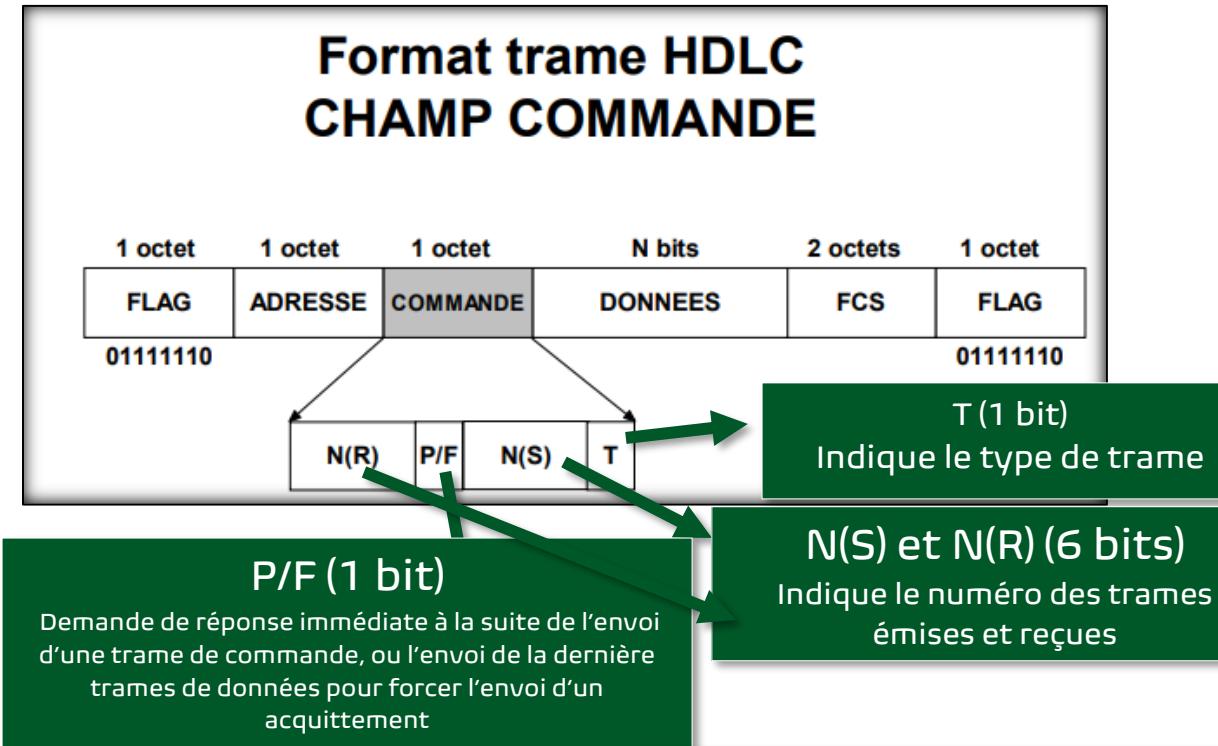
Toutes les informations sont transportées dans une structure unique : **la trame**.

- **Drapeau** : La trame est de longueur variable ; elle est délimitée par une séquence binaire spécifique appelée flag ou fanion.
 - Le même fanion est utilisé pour marquer le début et la fin d'une trame.
 - En cas d'émission consécutive de trames, le fanion marque la fin d'une trame et le début de la suivante.

Les différents champs sont décrits ci-après dans l'ordre d'émission.

- **Le champ Address** s'étend sur un octet et identifie une des extrémités de la liaison.
- **Le champ Control** décrit le type de la trame : il s'étend sur 1 octet mais peut être porté à 2 octets dans le mode appelé mode étendu.
- **Le champ Information** est un champ facultatif contenant un nombre quelconque d'éléments binaires représentant les données de l'utilisateur.
- **Le champ FCS (Frame Check Sequence – 16 bits)** est une séquence de contrôle de trame - contrôle des erreurs binaires
 - Elle est obtenue par un contrôle polynomial de polynôme générateur $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

Le format du champ de contrôle (commande) HDLC



■ Trois types de trames :

■ les trames d'*information* (I *Information*)

■ les trames de *supervision* (S *Supervisory*)

■ les trames *non numérotées* (U *Unnumbered*)

0	1	2	3	4	5	6	7
0		N(S)		P/F	N(R)		
1	0		M	P/F	N(R)		
1	1		M'	P/F	M'		

champ C d'une trame I
champ C d'une trame S
champ C d'une trame U

Elles se distinguent notamment par leur champ Commande :

Types de trame	Champ Commande							
I	0	N(S)				P/F	N(R)	
S	1	0	Type		P/F	N(R)		
U	1	1	M	M	P/F	M	M	M

Note : deux formats du champ Commande existent :

- le format normal (8 bits)
- le format étendu (16 bits) : négocié lors de l'établissement de la connexion pour avoir un champ de commande plus grand et ainsi effectuer la numérotation modulo 128.

Quel est le rôle des protocoles de niveau Liaison ?

Question 1

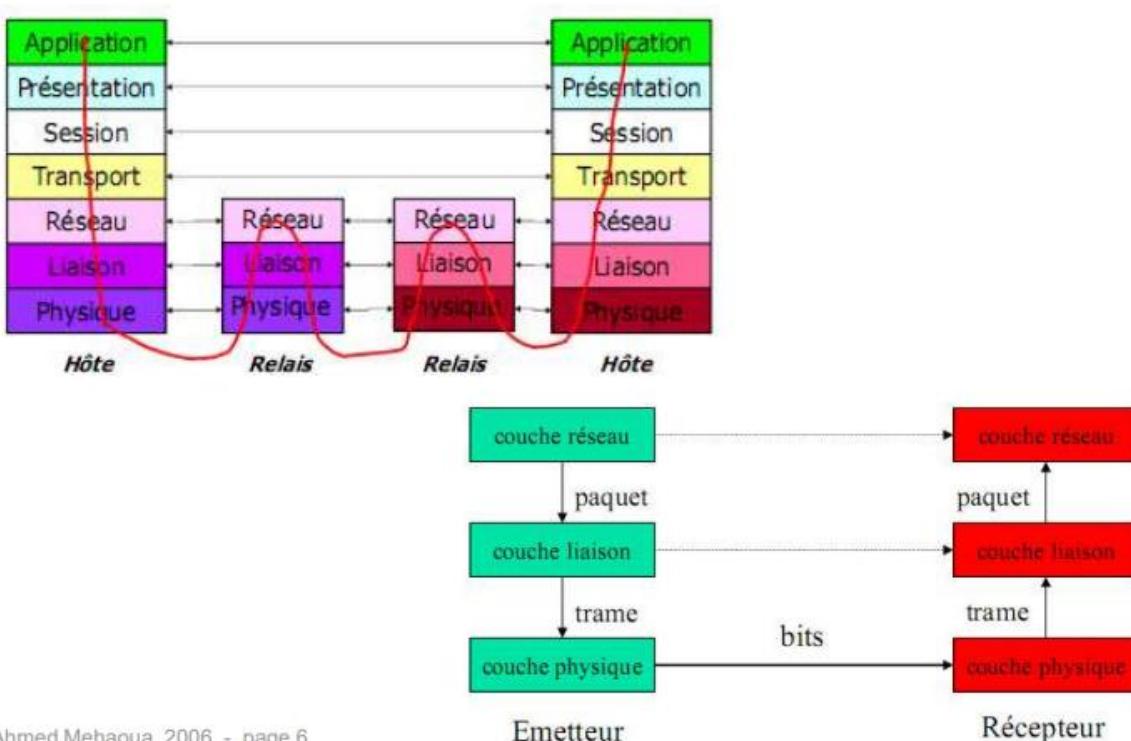
Couche Liaison de données : Objectifs

- Communication (fiable et efficace) entre deux machines adjacentes
 - deux machines physiquement connectées par un canal de transmission
 - La couche liaison récupère des paquets de la couche réseau.
 - Pour chaque paquet, elle construit une (ou plusieurs) trame(s).
 - La couche liaison envoie chaque trame à la couche physique.
- Liaisons de transmission ne sont pas parfaites :
 - Débit binaire limité, le délai de propagation est non nul, il peut y avoir des erreurs de transmission
- Cette couche doit assurer une transmission exempte d'erreurs sur un canal de communication.
- Elle doit aussi assurer un délivrance ordonnée des informations

Couche Liaison de données : Services offerts

- Gestion (délimitation) de trames
- Contrôle d'erreurs
- Contrôle de flux
- Contrôle d'accès à un canal partagé (MAC)

Couche Liaison de données : Services offerts



Dans le cas de la procédure HDLC, expliquer le rôle des champs N(S) et N(R) ?

Question 2

N(S) et N(R) (6 bits)

Indique le numéro des trames émises et reçues

HDLC et ses versions dérivées (LAP-B, LAP-D, PPP, LLC), est le protocole de niveau Liaison le plus répandu dans les réseaux de communications.

- La trame HDLC possède
 - Un champs N(S) pour préciser le numéro de la trame émise
 - Un champ N(R) pour que l'émetteur indique le numéro de la prochaine trame attendus.
- N(R) joue le rôle d'accusé de réception positif en indiquant que toutes les trames ayant un numéro inférieur à N(R) ont bien été reçues.
- La numérotation de N(S) et N(R) est modulo 8, soit une numérotation de 0 à 7.
- Dans chaque système, deux variables V(S) et V(R) sont initialisées à zéro et permettent de contrôler les valeurs des champs N(S) et N(R).
- A chaque envoi d'une trame, le champ N(S) est incrémenté de 1.
A chaque réception d'une trame, le champ N(R) est incrémenté de 1.

Comment s'effectue la synchronisation des horloges de l'émetteur et du récepteur dans une procédure HDLC ?

Question 3

- La synchronisation est réalisée par l'insertion d'un octet ayant une configuration binaire particulière, appelé FANION ou FLAG.
- Ayant la valeur « 0111 1110 ».
- Ce FANION assure également le rôle de délimiteur de trame.

Drapeau : La trame est de longueur variable ; elle est délimitée par une séquence binaire spécifique appelée flag ou fanion.
→ Le même fanion est utilisé pour marquer le début et la fin d'une trame.
→ En cas d'émission consécutive de trames, le fanion marque la fin d'une trame et le début de la suivante.

On désire transmettre la suite de bits de données suivante avec le protocole HDLC :

« 011111001101110111110 »

Quelle est la suite de bits réellement transmise au niveau physique ?

Question 4

Nous devons utiliser un mécanisme de « Transparence » ou « de remplissage de bits ».

Lorsque la couche Liaison de l'émetteur détecte une suite consécutive de cinq bits à 1, elle insère un bit supplémentaire à « 0 » à la suite avant d'envoyer les données.

La suite de bits originale à émettre :

0 $\overbrace{1111}^{\text{1}}$ 1001101110 $\overbrace{1111}^{\text{1}}$ 0

La suite de bits émis sur le support physique est :

0 $\overbrace{1111}^{\text{1}}$ **0** 1001101110 $\overbrace{1111}^{\text{1}}$ **00**

La suite de bits stockés dans la mémoire du récepteur :

0 $\overbrace{1111}^{\text{1}}$ 1001101110 $\overbrace{1111}^{\text{1}}$ 0

On désire maintenant transmettre la suite des bits de données suivante :

« 0110110100111**0**1101111**10** »

Par suite d'une erreur de transmission, la couche liaison du récepteur reçoit la séquence de données suivante (hors Fanions de début et de Fin) :

0110110100111**1**1101111**00**

Comment le récepteur interprète-t-il cette séquence de données ?

Question 5

Suite de bits reçus par le récepteur

0110110100111**0**1101111**10**

Le récepteur identifie un FANION et il considère qu'il vient de recevoir 2 trames délimitées par un FANION.

0110110100111**1**101111**00**
FLAG

FANION ou FLAG. Ayant la valeur « 01111110 ».

Indiquer le type de reprises sur erreurs qui sera entrepris.

Question 6

Cette erreur est détectée par le protocole de niveau Liaison, soit HDLC, au moyen:

- Du contrôle de la taille minimale de la trame
- Identification et cohérence des valeurs des champs d'en-tête de trame
- Du contrôle du code de redondance cyclique (CRC)
- Une demande de retransmission de trame basée sur la variable V(R).

- Chaque entité tient à jour les trois variables suivantes :
 - **V(S)** = numéro de la prochaine trame d'information à émettre,
 - **V(R)** = numéro de la prochaine trame à recevoir,
 - **DN(R)** = numéro du dernier acquittement reçu.

Champs FCS (Frame Check Sequence – 16 bits), est un code de redondance cyclique (CRC) calculé au moyen du polynôme générateur:

$$– \text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

CONTRÔLE DES ERREURS

- 1- Vérification au récepteur de données

Vérification du format des trames :

- longueur, valeurs prédéfinies de certains champs

Détection de la corruption des trames :

- champ de contrôle d'erreur → CRC-16 pour HDLC (champ FCS)

- 2- Information de l'émetteur de données

- Soit implicitement par temporisateur
 - . armé à chaque envoi de trame,
 - . désarmé lors de la réception d'un acquittement positif
- Soit explicitement : par "Nack" (acquittement négatif)
 - . le **rejet total** : retransmission de toutes les trames à partir de celle spécifiée
 - . le **rejet sélectif** : retransmission de la trame spécifiée

- 3- Retransmission de la trame (perdue ou détruite) par l'émetteur

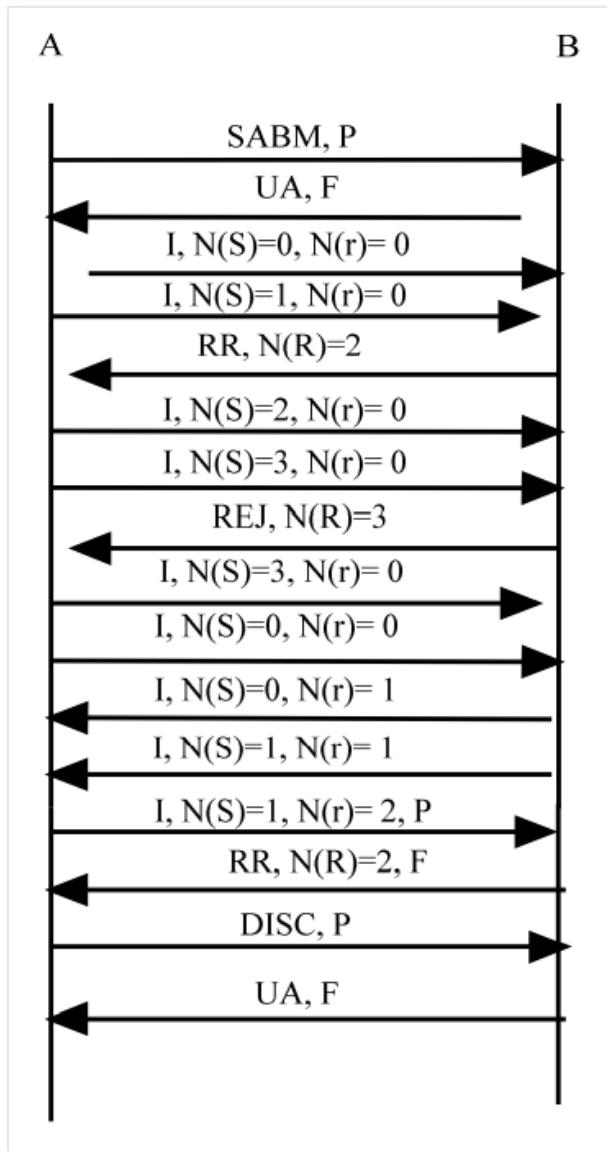
Exercice 3

Analyse de diagramme d'échanges de trames HDLC

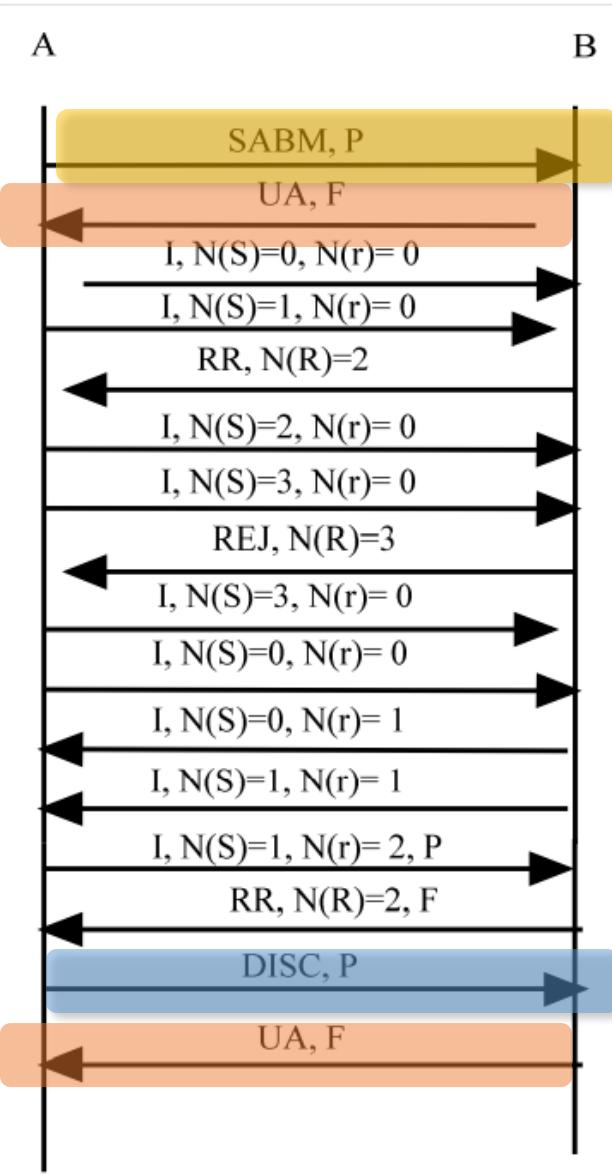
Diagramme d'échange

cas d'une liaison HDLC bidirectionnelle

La numérotation se fait module 4 (0, 1, 2, 3). La fenêtre d'anticipation est de 2



Quels sont les rôles des trames SABM, DISC et UA ?



Ouverture et fermeture des connexions

initialisation des paramètres (trames U)

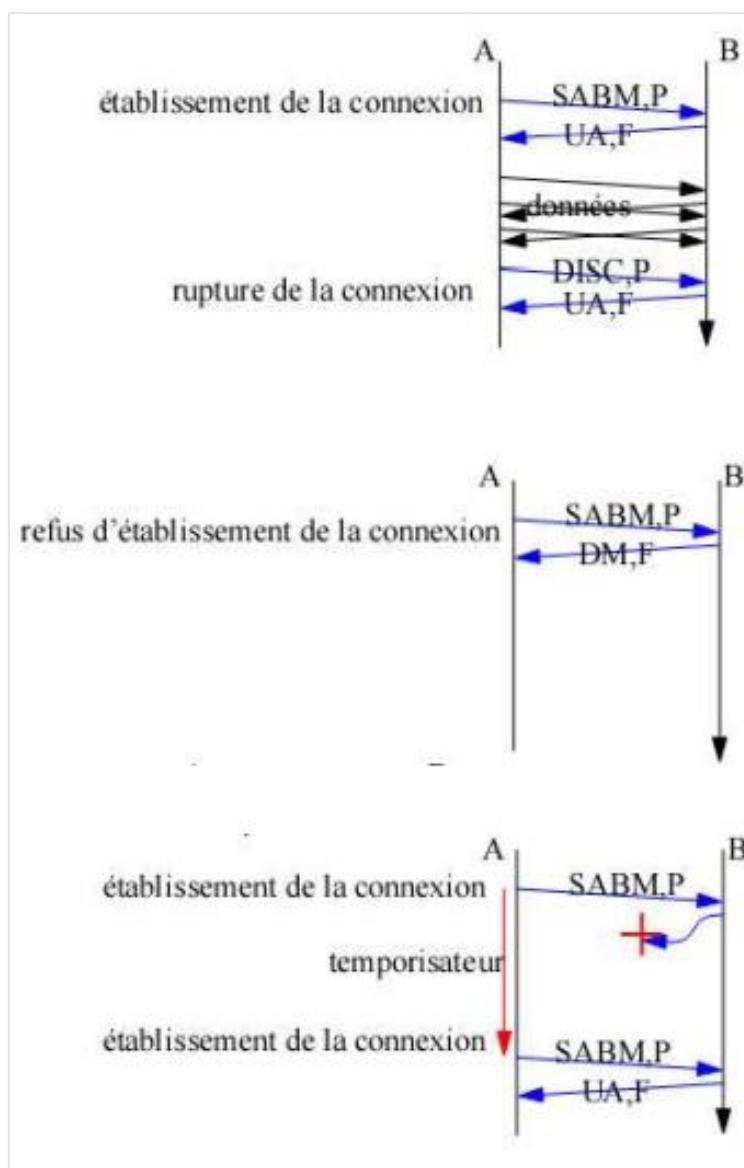
Trames non numérotées (trames U)

On utilise les trames U pour les fonctions supplémentaires de commande de la liaison.

- **SABM (Set Asynchronous Balanced Mode)** pour initialiser le fonctionnement en mode équilibré.
- **DISC (DISConnect)** pour rompre logiquement la liaison entre les deux stations.
- **UA(Unnumbered Acknowledgement)** pour acquitter des commandes comme SABM ou DISC.

HDLC

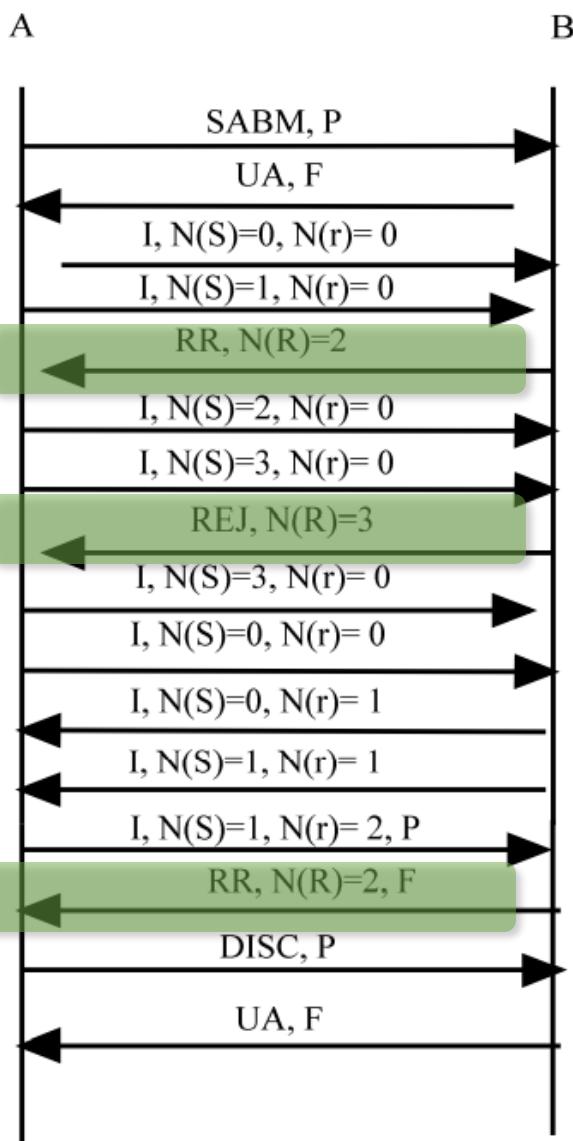
ETABLISSEMENT/CLOTURE DE LIAISON



DM (Disconnect Mode) pour indiquer l'état de déconnexion d'une station. Elle s'utilise, en particulier, pour répondre négativement à une demande d'initialisation par SABM

Quel est le rôle de la trame RR ? REJ ?

Question b



Contrôle de flux des données

éviter les congestions des mémoires (trames S)

Trames de supervision (trames S)

Les trames S acquittent les trames I et indiquent l'état de disponibilité des stations (aptitude ou non à recevoir de nouvelles trames I). Contenant un numéro N(R), elles servent au contrôle d'erreurs et au contrôle de flux.

La trame RR indique que l'équipement est prêt à recevoir de nouvelles trames I. Le numéro N(R) donne le numéro de la prochaine trame attendue. Il signifie que toutes les trames I de numéro N(S) strictement inférieur à N(R) ont été reçues. Un équipement peut aussi envoyer des trames RR pour indiquer son état ou pour demander l'état de la station située à l'autre extrémité

La trame REJ sert à demander l'arrêt immédiat des émissions en cours et une retransmission à partir de la trame I portant le numéro indiqué dans N(R).

Contrôle de flux avec mécanisme SIMPLE et UTOPIQUE « SEND & WAIT »

Hypothèses :

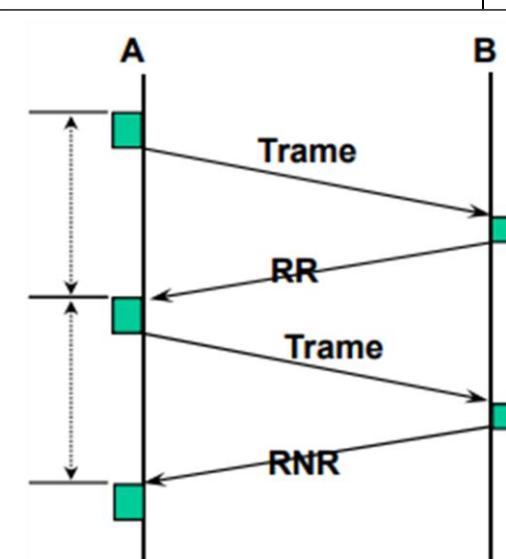
- Transmission de trames de données (I) dans un seul sens
- Canal de communication parfait (pas d'erreurs ni pertes)
- Taille finie des mémoires tampon

Solution :

- Introduction de 2 trames de supervision (S), qui ne transportent aucune information utile et qui sont invisibles aux utilisateurs :
 - RR (Receiver Ready)
 - RNR (Receiver Not Ready)

2 variantes :

- Envoie d'une trame de supervision après chaque trame de données,
- Envoie d'une trame RNR si tampon plein, suivie d'une trame RR pour reprendre les envois.



- La trame RNR acquitte les trames reçues et indique en outre que l'équipement n'est pas en mesure de recevoir de nouvelles trames I. Le numéro $N(R)$ a la même signification que dans la trame RR.

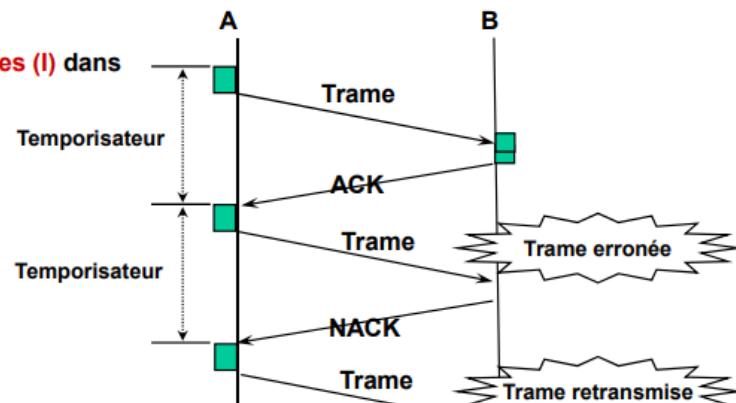
CONTRÔLE DE FLUX avec mécanismes « SEND & WAIT » et CONTRÔLE DES ERREURS avec « ACQUITTEMENT »

Hypothèses :

- Transmission de trames de données (I) dans un seul sens
- Canal de communication bruité
- Taille finie des mémoires tampon

Problèmes:

- Trames perdues
- Trames erronées
- Duplication de trame



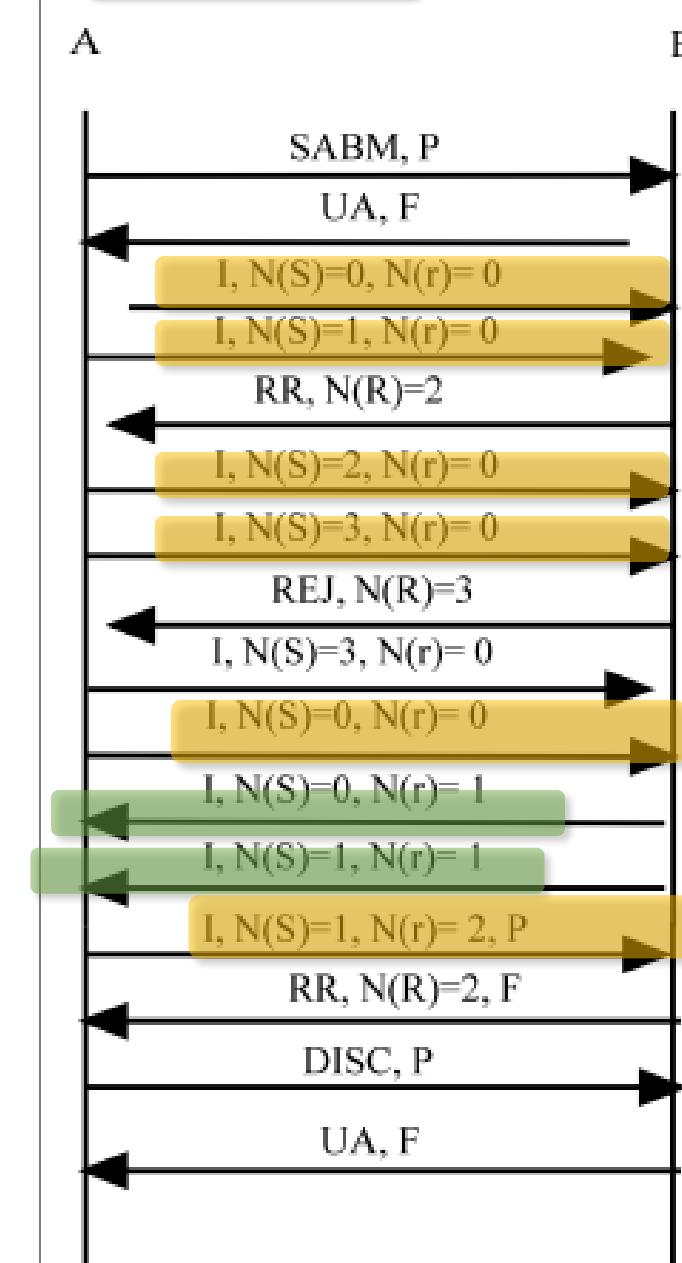
Solution :

- Ajouter un processus d'acquittement positif ou négatif
- Utiliser un **temporisateur ou Timer** pour borner le délai de réception des ACK
- **Numérotation des trames modulo M** (valeur 2, 8 ou 128)
- Ajout d'un champ N(S) dans l'en-tête des trames de données et de supervision
- Ajout de compteurs V(S) et V(R) dans les terminaux émetteurs et récepteurs
- Requiert une initialisation de l'échange pour la négociation de la valeur du compteur (protocole en mode connecté)

ATTENTION : La fonction de Contrôle de Flux et de contrôle d'erreurs peuvent utiliser la même trame de supervision (par exemple RR et RNR)

Combien de trames de données sont échangées entre A et B, et B vers A (hors retransmissions) ?

Question c



Les trames d'information ou trames I permettent la transmission de données de l'utilisateur.

Seule une trame I peut transmettre des données ; elle est numérotée par la variable N(S) et contient également l'acquittement des trames reçues en sens inverse (procédé de piggy-backing), grâce au numéro N(R).

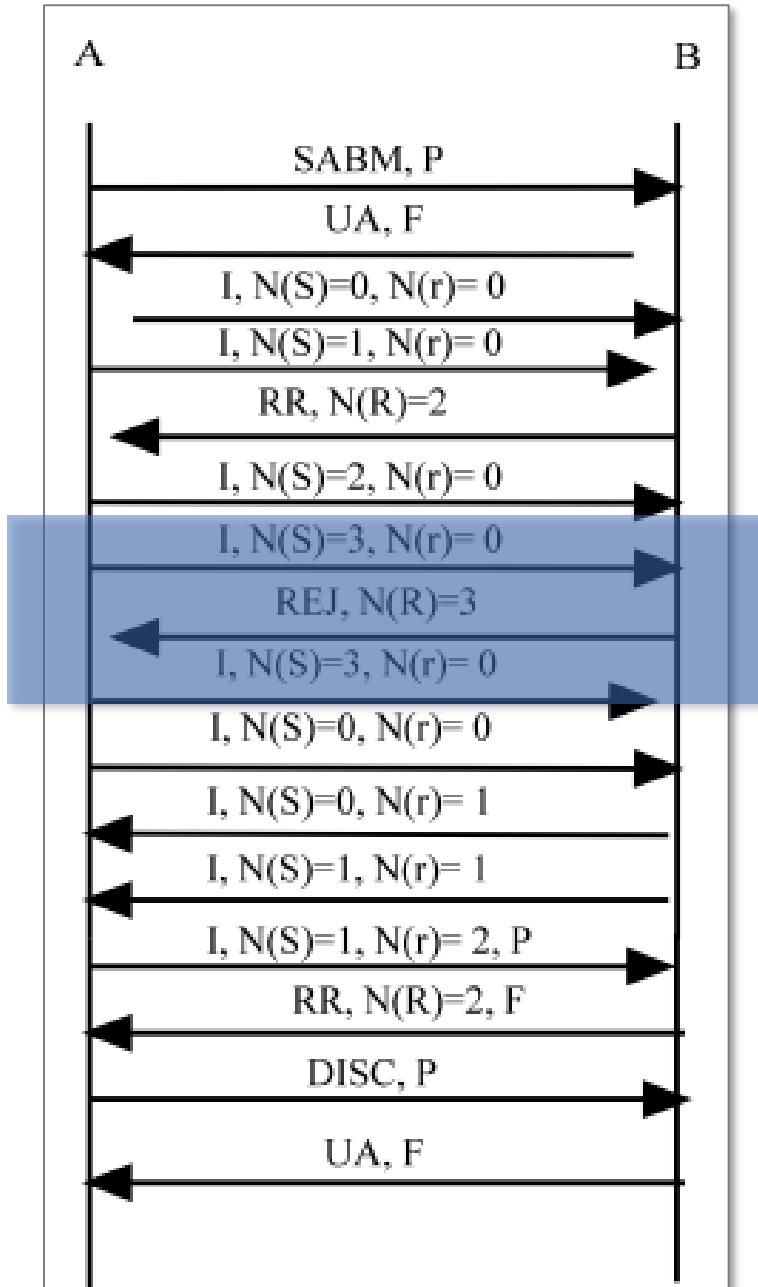
A vers B : 6 trames émises

B vers A : 2 trames émises

Y a-t-il des erreurs de transmission ?

Quelles sont les trames concernées ?

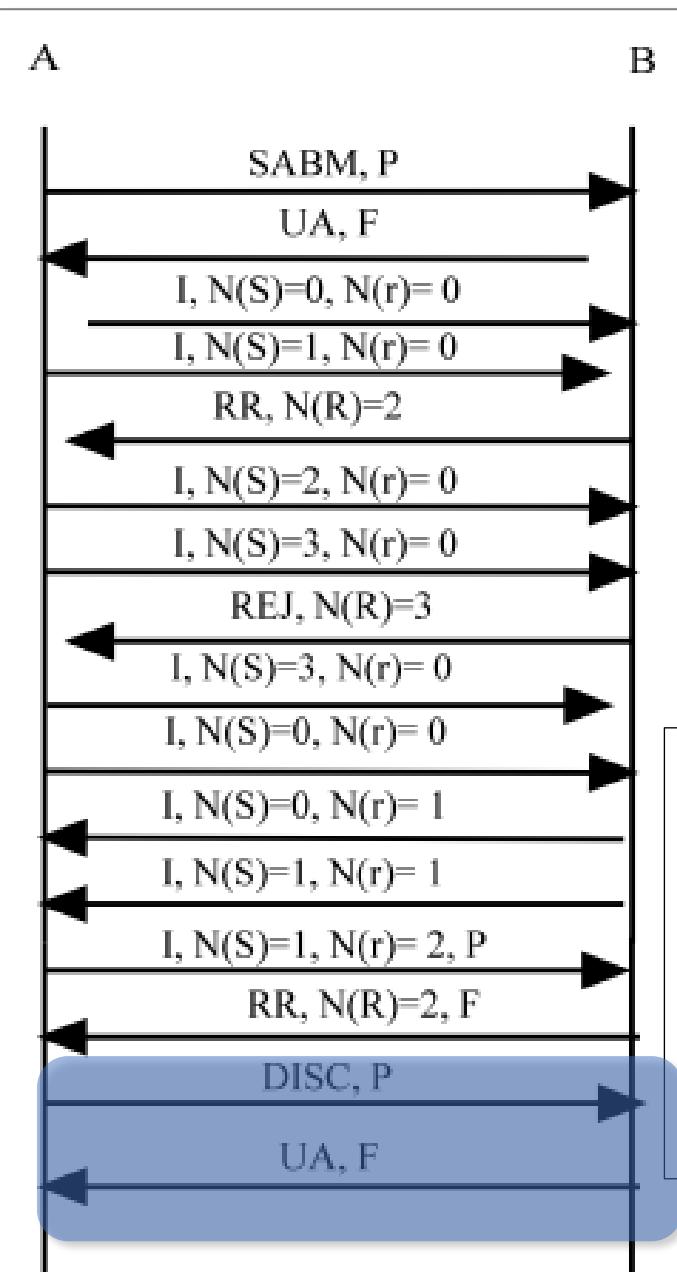
Question d



oui, il y a un erreur de transmission de A vers B : la trame n° 3 est détectée erronées par B. oui il y a des retransmissions de trames de A vers B : trames n° 3» ,

Quel est le terminal qui décide de clore la liaison ? Est-ce que l'autre terminal peut faire de même ?

Question e



A initie la clôture de la connexion. En utilisant le mode équilibré de la procédure HDLC, donc LAP-B, l'un ou l'autre des ETTD peut prendre l'initiative de clore la connexion.

- LAP-B (“Link access procedure-balanced”) :
 - . rôles équilibrés (symétriques) entre les deux systèmes adjacents

Exercice 4

Simulation d'échange HDLC

PAS dans le sujet de TD de 2020-2021

2 terminaux A et B utilisent la procédure de communication HDLC pour s'échanger des trames de données.

En reprenant le modèle de diagramme ci-dessous, donnez le diagramme des échanges en supposant que :

- Chaque terminal doit émettre 4 trames de données vers l'autre.
- La taille de la fenêtre d'émission est égale à 2.
 - Le nombre maximum de trames consécutives que l'on peut ainsi émettre (resp. recevoir) est la largeur de la fenêtre d'anticipation d'émission (resp. de réception).
- La numérotation se fait modulo 4.
 - La numérotation se fait module 4 (0, 1, 2, 3).
- Le temps de traitement des trames au niveau du récepteur est négligeable.
- La trame #1 de A, et la trame #2 de B sont erronée lorsqu'elles sont émises la première fois, mais elles sont réémises correctement la fois suivante.
- Les acquittements/retransmissions sont groupés.
- Les émetteurs positionnent le bit P à 1 dans la dernière trame I transmise.

