**Introduction**

Les services offerts par la couche liaison de données ont pour but de traiter les données reçues de la couche réseau (en émission) ou de la couche physique (en réception). Elle peut avoir plusieurs fonctionnalités :

* Les données fournies par la couche réseau sont des paquets répondant à un format précis. La couche liaison de données de l’émetteur constitue à partir de ces paquets des entités de niveau 2 appelées trames que la couche physique doit transmettre. A l’autre extrémité de la ligne, le récepteur doit reconstruire les trames à partir des bits reçus.
* La trame doit être transmise vers le nœud suivant de telle sorte que le récepteur soit capable de reconnaître son début et sa fin.
* Chaque trame est traitée avant son envoi pour mettre un contrôle d’erreurs.
* Les trames ainsi constituées doivent être transmises sur le support. Des techniques ont été conçues pour optimiser cette transmission (commutation).
* La transmission à la couche physique n’est pas élémentaire. En effet, le support physique est unique dans la plupart des réseaux alors que les émetteurs potentiels sont nombreux. Ce qui nécessite d’utiliser une méthode d’accès au support adapté.
* Gestion de liaison (établir, maintenir et libérer une connexion).
* Contrôle de flux pour réguler la quantité de données échangées et éviter la saturation du récepteur qui peut être lent par rapport à l’émetteur.

**III.1 Constitution des trames**

Pour qu’une machine soit capable de créer ou reconstituer une trame, il faut convenir d’un format de trame entre les deux extrémités. Plusieurs techniques sont utilisées :

* La taille d’une trame doit être fixée : la couche liaison du destinataire découpe arbitrairement la chaine binaire arrivée en éléments de longueur constante.
* La taille de la trame est transmise au destinataire : pour cela il faut compter les bits avant leur envoi et d’inclure ce nombre dans la trame elle-même.
* Des fanions (suite binaire) sont utilisés pour repérer le début et la fin de la trame.

**III.2 Commutation**

Un réseau à commutation est un réseau longue distance qui propose des techniques permettant d’acheminer de manière optimisée des trames de niveau liaison à travers un réseau maillé de communication.

**III.2.1 Commutateur**

Un commutateur est un nœud possédant plusieurs ports de connexion. Son rôle est d’orienter des trames binaires de niveau 2 qu’il reçoit par l’un de ses ports sur un autre port en fonction de la destination recherchée.

**III.2.1 Commutation de trames**

Dans une commutation de trames lorsque la trame arrive au nœud suivant, la zone portant l’adresse ou la référence est examinée, ce qui permet d’émettre la trame vers le nœud suivant.

**III.3 Gestion des erreurs de transmission**

Quel que soit le canal utilisé, un échange d'information entre deux entités peut être l'occasion d'une corruption de cette information. Comment assurer l'intégrité d'une transmission ?

Lorsqu'un émetteur souhaite transmettre des informations à un récepteur, le schéma de principe de la transmission est généralement le suivant :



**III.3.1 Généralités**

        Soit M = m1 m2 … mk un bloc de k bits à transmettre

        Le codeur transforme M en un bloc de n bits C = c1 c2 … cn

        Un tel code est noté *code (n, k)*

        Le code est en *bloc* si le mot C ne dépend que de M

        Le rendement du code R = k ÷ n

        Le *poids de Hamming* d’un mot du code est le nombre de 1 qu’il contient

        La *distance de Hamming* entre deux mots de code est le poids du vecteur somme

**III.3.2 Définitions**

1. Le code est *systématique* si pour 1 < i < k on a ci = mi , les bits ck+1 … cn sont appelés bits de contrôle
2. Un code (n, k) est *linéaire* s’il est systématique et si les n − k bits de contrôle dépendent linéairement des k bits d’information.
3. Un code *polynomial* est un code linéaire dont chacun des polynômes associés aux mots du code sont divisibles par un polynôme générateur.

**III.3.3 Encodage**

1. Mettre le message à coder sous forme polynomiale
2. Former xn − k × M(x)
3. Diviser xn − k × M(x) par G(x) pour avoir le reste B(x) de cette division
4. Former C(x) = B(x) + xn − k × M(x)
5. Mettre C(x) sous forme binaire

Exemple d’encodage avec pour hypothèses n = 12, k = 8, G(x) = x4 + x3 + 1 (équivaut à 11001) et un message à envoyer = 10011010 :

1. 10011010 → M(x) = x7 + x4 + x3 + x
2. xn − k × M(x) → x11 + x8 + x7 + x5 (équivaut à 100110100000)
3. xn − k × M(x) ÷ G(x) → un reste B(x) = x3 + x2 + x + 1 (équivaut à 1111) par la division polynomiale ci-dessous (les coefficients sont dans Z2) :
4. C(x) = B(x) + xn − k × M(x) → C(x) = → x11 + x8 + x7 + x5 + x3 + x2 + x + 1
5. C(x) équivaut à 100110101111 (M(x) décalé à gauche de n − k plus B(x))

100110100000|11001

 |--------

11001 |11100111

----- |

 10100 |

 11001 |

 ----- |

 11011 |

 11001 |

 ----- |

 100 |

 1000 |

 10000 |

 11001 |

 ----- |

 10010 |

 11001 |

 ----- |

 10110|

 11001|

 -----|

 1111|

**III.3.4 Décodage**

1. Mettre le message reçu sous forme polynomiale
2. Diviser R(x) par G(x) pour obtenir le syndrome S(x) (reste de cette division)
3. Si S(x) = 0, le message est correct sinon il est erroné

Exemple de décodage avec pour hypothèses n = 12, k = 8, G(x) = x4 + x3 + 1 (équivaut à 11001) et un message reçu = 100110101111 (celui qu’on a envoyé précédemment) :

1. R(x) = x11 + x8 + x7 + x5 + x3 + x2 + x + 1
2. R(x) ÷ G(x) → un reste S(x) = 0 par la division polynomiale ci-dessous (c’est normal nous n’avons introduit aucune erreur dans C(x)) :

100110101111|11001

 |--------

11001 |11100111

----- |

 10100 |

 11001 |

 ----- |

 11011 |

 11001 |

 ----- |

 100 |

 1001 |

 10011 |

 11001 |

 ----- |

 10101 |

 11001 |

 ----- |

 11001|

 11001|

 -----|

 00000|

**III.3 Les protocoles de liaison de données**

Le circuit de données pouvant altérer les informations transportées, le protocole de liaison de données le supervise et définit un ensemble de règles pour assurer la fiabilité des échanges sur une liaison de données. Ce protocole spécifie le format des unités de données échangées (les trames), leur délimitation, les moyens de contrôler leur validité (parité, code polynomial…), ainsi que le mode de correction des erreurs détectées. Il fixe également les règles du dialogue entre les deux extrémités de la liaison. Il exerce en outre deux fonctions importantes : le contrôle de flux (mécanisme vérifiant le rythme d’envoi des informations) et la gestion des acquittements (mécanisme validant la réception des informations).

HDLC (High level Data Link Control) est un exemple de protocole normalisé très répandu, orienté bit, transparent à tous les codes, dans lequel toutes les trames ont le même format. Il permet d’exploiter une liaison bidirectionnelle simultanée avec contrôle d’erreurs, de séquence et de flux. PPP (Point to Point Protocol ) en est une version très simplifiée, utilisée dans Internet.

**III.3.1 Protocole HDLC (High level Data Link Control)**

HDLC décrit une transmission en duplex intégral fonctionnant sur une liaison point à point ; la transmission est synchrone et orientée bit. HDLC peut transporter des informations utilisant des codes de longueur variable. Sa variante la plus connue est de type Go-back-N (Dans la stratégie Go-back-N « retour au n-ième », une trame de supervision appelée REJ (Reject) sollicite la retransmission des trames à partir de la trame erronée.) avec un mécanisme de contrôle de flux.

**III.3.1.1 Structure d’une trame HDLC**

La trame est la structure unique de longueur quelconque qui transporte toutes les informations. Un fanion en marque le début et la fin ; un seul fanion marque la fin d’une trame et le début de la suivante lorsque deux trames sont émises consécutivement.



* 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 (sur 2 octets dans le mode étendu).
* Le champ *Information* est facultatif. Il contient un nombre quelconque d’éléments binaires représentant les données de l’utilisateur.
* Le champ *FCS* est la séquence de contrôle de trame, obtenue par un contrôle polynomial dont le polynôme générateur vaut x16 + x12 + x5 + 1.

**III.3.1.2 Différents types de trames HDLC**

Il existe trois types de trames identifiés par le champ *Control* :

1. **Les trames d’information ou trames *I* :** permettent la transmission de données de l’utilisateur, 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).*



1. **Les trames de supervision *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. Les trois trames de supervision sont :
* 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.
* 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.
* 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).



1. **Trames non numérotées *U*:** Ces dernières servent à commander la liaison : initialisation, libération, notification d’erreurs irrécupérables.
* SABM (Set Asynchronous Balanced Mode) pour initialiser le fonctionnement en mode équilibré.
* DISC (DISConnect) pour couper logiquement la liaison entre les deux stations.
* UA (Unnumbered Acknowledgement) pour acquitter des commandes comme SABM ou DISC.
* FRMR (FRaMe Reject) pour rejeter une commande invalide (correcte du point de vue de la détection des erreurs mais incohérente par rapport à l’état du dialogue).
* 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.



**III.3.1.2 Etablissement et libération de la liaison de données**

N’importe quel équipement peut initialiser la liaison. Le primaire de l’équipement initiateur envoie la trame SABM,P et attend la réponse du secondaire de l’autre équipement. En cas de non-réponse, il réitère son envoi jusqu’au nombre maximal de tentatives de connexion. Au bout de ce nombre d’essais infructueux, il considère que la liaison est impossible à établir. À réception d’une SABM,P, le récepteur transmet une trame UA,F si son utilisateur accepte le dialogue, sinon il envoie une trame DM,F. Dans le premier cas, la connexion est alors établie ; tous les compteurs et les temporisateurs sont initialisés. Les premières trames émises de chaque côté porteront un N(S) égal à 0. Dans le second cas, les équipements entament une phase de libération. Ce dernier processus, symétrique à l’établissement de la liaison, utilise les commandes DISC et UA.