



## Partie 3 : Notions de protocoles

Olivier GLÜCK  
Université LYON 1 / Département Informatique  
Olivier.Gluck@univ-lyon1.fr  
<http://perso.univ-lyon1.fr/olivier.gluck>

## Copyright

- Copyright © 2015 Olivier Glück; all rights reserved
- Ce support de cours est soumis aux droits d'auteur et n'est donc pas dans le domaine public. Sa reproduction est cependant autorisée à condition de respecter les conditions suivantes :
  - Si ce document est reproduit pour les besoins personnels du reproducteur, toute forme de reproduction (totale ou partielle) est autorisée à la condition de citer l'auteur.
  - Si ce document est reproduit dans le but d'être distribué à des tierces personnes, il devra être reproduit dans son intégralité sans aucune modification. Cette notice de copyright devra donc être présente. De plus, il ne devra pas être vendu.
  - Cependant, dans le seul cas d'un enseignement gratuit, une participation aux frais de reproduction pourra être demandée, mais elle ne pourra être supérieure au prix du papier et de l'encre composant le document.
  - Toute reproduction sortant du cadre précisé ci-dessus est interdite sans accord préalable écrit de l'auteur.

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

2

## Remerciements

- Certains transparents sont basés sur des supports de cours de :
  - Danièle DROMARD (PARIS 6)
  - Andrzej DUDA (INP Grenoble/ENSIMAG)
  - Shivkumar KALYANARAMAN (RPI/ECSE)
  - Alain MILLE (LYON 1)
  - CongDuc PHAM (LYON 1)
  - Michel RIVEILL (Université de Nice/ESSI)
  - l'Institut National des Télécommunications (INT)
- Des figures sont issues des livres cités en bibliographie

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

3

## Bibliographie

- « *Réseaux* », 4<sup>ème</sup> édition, Andrew Tanenbaum, Pearson Education, ISBN 2-7440-7001-7
- « *Réseaux et Télécoms* », Claude Servin, Dunod, ISBN 2-10-007986-7
- « *Analyse structurée des réseaux* », 2<sup>ème</sup> édition, J. Kurose et K. Ross, Pearson Education, ISBN 2-7440-7000-9
- « *TCP/IP Illustrated Volume 1, The Protocols* », W. R. Stevens, Addison Wesley, ISBN 0-201-63346-9
- « *TCP/IP, Architecture, protocoles, applications* », 4<sup>ème</sup> édition, D. Comer, Dunod, ISBN 2-10-008181-0
- « *An Engineering Approach to Computer Networking* », Addison-Wesley, ISBN 0-201-63442-6

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

4

## Bibliographie

- Internet...
  - <http://www.guill.net/>
  - <http://www.courseforge.org/courses/>
  - <http://www.commentcamarche.net/ccmdoc/>
  - <http://www.protocols.com/>
  - [http://dir.yahoo.com/Computers\\_and\\_Internet/](http://dir.yahoo.com/Computers_and_Internet/)
  - <http://www.rfc-editor.org/> (documents normatifs dans TCP/IP)

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

5

## Plan de la partie 3

- La délimitation des données
  - Notion de fanion
  - Notion de transparence
- Le contrôle d'intégrité
  - Notion d'erreur
  - Détection d'erreur par clé calculée
  - Les codes autocorrecteurs
- Le contrôle de l'échange
  - Du mode Send & Wait aux protocoles à anticipation
  - Contrôle de flux
- La signalisation

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

6

## Rappel : un protocole

- Un ensemble de conventions préétablies pour réaliser un échange (fiable) de données entre deux entités
- Il définit le format des données et les règles d'échange
  - syntaxe et sémantique des messages...
- En particulier :
  - délimitation des blocs de données échangés
  - contrôle de l'intégrité des données reçues
  - organisation et contrôle de l'échange
  - éventuellement, contrôle de la liaison

## Rappel : rôle de la liaison de données

- Transfert de données fiable entre deux équipements de liaison
  - Taux d'erreurs résiduel négligeable (détection et contrôle des erreurs de la couche physique)
  - Sans perte (contrôle de flux)
  - Sans duplication
  - Maintien des trames en séquence (dans l'ordre !)
- Service fourni au réseau
  - Etablir, maintenir et libérer les connexions de liaison de données entre entités de réseau
- Service bi-point et multipoint
  - En multipoint : la LD gère l'accès au support (CSMA/CD)

## La délimitation des données

Notion de fanion  
Notion de transparence



## Notion de fanion

- Lors d'une transmission de données, il faut pouvoir repérer le début et la fin de la séquence des données transmises
  - bit de "start" et bit de "stop" en transmission asynchrone
  - fanion en transmission synchrone
    - un caractère spécial
    - ou une séquence de bits particulière



## Notion de fanion

- 3 fonctions essentielles
  - délimite les données
  - permet de maintenir la synchronisation de l'horloge de réception (émis en l'absence de données à émettre)
  - permet au récepteur de se caler correctement sur une frontière d'octets (synchronisation caractère)
    - > reconnaissance des caractères
- Question
  - Qu'est ce que la définition d'un caractère spécial pose comme problème ?

## Notion de transparence

- Les caractères "spéciaux" comme le fanion ne sont pas délivrés aux couches supérieures : ils sont interprétés pour les besoins du protocole
- Les caractères "spéciaux" doivent pouvoir être transmis en tant que données et donc délivrés en tant que tel
  - -> mécanismes de transparence
  - -> définition d'un autre caractère spécial : le **caractère d'échappement**

## Notion de transparence

- Caractère d'échappement : le caractère suivant n'est pas interprété
- Fonctionnement
  - Côté émission : insertion du caractère d'échappement devant le caractère à protéger
  - Côté réception : l'automate examine chaque caractère pour découvrir le fanion de fin ; s'il rencontre le caractère d'échappement, il l'élimine et n'interprète pas le caractère suivant -> il le délivre au système

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      13

## Notion de transparence

- Et si on veut transmettre le caractère d'échappement en tant que données ?

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      14

## Notion de transparence

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      15

## Protocoles orientés caractères/bits

- Protocoles orientés caractères
  - trame=nb entier de caractères délimités par des caractères de commande
  - tous les caractères "de commande", dédiés au contrôle de l'échange, sont représentés par un caractère spécial qui doit être systématiquement précédé d'un caractère d'échappement
- Protocoles orientés bits
  - les informations de contrôle sont dans un champ particulier de la trame -> il faut assurer la transparence pour le fanion uniquement
  - seul le fanion est un "caractère" spécial
  - la transparence binaire est assurée par l'insertion d'un "0" tous les 5 bits à "1"
  - le fanion est représenté par "01111110" ; c'est la seule séquence pouvant contenir plus de 5 bits à "1" consécutifs -> **technique du bit de bourrage**

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      16

## La technique du bit de bourrage

- Seul le fanion (01111110) peut contenir plus de 5 bits consécutifs à "1"
- Côté émission : si 5 bits consécutifs sont à "1", l'automate insère un "0"
- Côté réception : si 5 bits consécutifs sont à 1, l'automate regarde le bit suivant :
  - s'il est à "1", il s'agit du fanion
  - s'il est à "0", le "0" est enlevé de la séquence (il a été introduit à l'émission)
- Permet la resynchronisation des horloges en interdisant les longues séquences de bits à 1

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      17

## La technique du bit de bourrage

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      18

## Le contrôle d'intégrité

Notion d'erreur  
Détection d'erreur par clé calculée  
Codes autocorrecteurs

## Le contrôle d'intégrité

- Plusieurs facteurs peuvent modifier le contenu des données
  - facteurs d'origine humaine
    - problème de sécurité des données
    - transmission de mots de passe chiffrés...
  - facteurs d'origine physique : des bits sont erronés
    - on parle de contrôle d'erreur
    - erreurs dues à un phénomène physique
      - rayonnements électromagnétiques
      - distorsions
      - bruit
      - perte de la synchronisation des horloges (fibre)

## Le taux d'erreur binaire (BER)

- BER = *Bit Error Rate*
- $Teb = \text{Nb bits erronés} / \text{Nb bits transmis}$
- Exemple
  - L'émetteur transmet la suite 0001110101101010
  - Le récepteur reçoit la suite 0001100101111011
  - $Teb = 3/16 = 0,1875$
- En pratique
  - RTC :  $Teb = 10^{-4}$
  - Réseaux locaux :  $Teb = 10^{-9}$
  - Les erreurs se produisent généralement par rafale

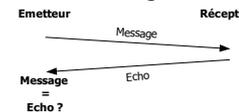
## Le taux d'erreur binaire (BER)

- $Teb$  représente la probabilité de recevoir un bit erroné
- La probabilité de recevoir correctement un bloc de  $N$  bits est alors :
 
$$p = (1 - Teb) \dots (1 - Teb) = (1 - Teb)^N$$
- La probabilité de recevoir un bloc erroné est alors :
 
$$p = 1 - (1 - Teb)^N$$
- Plus la longueur d'un bloc est grand, plus la probabilité de réception correcte est faible !

## La détection d'erreur

- But : vérifier la validité des données reçues chez le destinataire
- Idée : ajouter une certaine redondance dans l'information transmise
- 4 techniques
  - la détection par écho
  - la détection par répétition
  - la détection d'erreur par clé calculée
  - la détection et correction d'erreur par code

## La détection par écho

- Le récepteur renvoie chaque message reçu (écho)
  - L'émetteur compare l'écho au message initial et le renvoie si les deux messages sont différents
- 
- Utilisée par terminaux asynchrones (telnet, minitel, ...)
  - Problèmes
    - redondance totale
    - l'écho peut lui-même être erroné

### La détection par répétition

- Chaque message émis est suivi de sa propre réplique
- Si les deux messages sont différents, le récepteur demande une retransmission

- Utilisée dans les milieux sécurisés très perturbés (applications temps réel)
- Problèmes
  - redundance totale
  - la réplique peut être erronée
  - contrôle sur le récepteur

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 25

### La détection d'erreur par clé calculée

- L'émetteur ajoute au message une information supplémentaire (clé) calculée à partir du message d'origine
- Le récepteur recalcule la clé selon la même méthode à partir des informations reçues et compare à la clé reçue
- Le récepteur ignore les données si les clés sont différentes et peut demander la retransmission (reprise sur erreur)

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 26

### La détection par clé calculée

- La clé est parfois appelée
  - CRC : *Cyclic Redundancy Check*
  - FCS : *Frame Check Sequence*
- La clé peut elle-même être corrompue

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 27

### La détection par clé calculée

- Un exemple : la technique du bit de parité

- Exemple : S en ASCII est représenté par 1010011 -> bit de parité = 0
- Simple mais Redondance faible
- Ne permet de détecter que les erreurs portant sur un nombre impair de bits
- Utilisé pour la transmission des caractères ASCII

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 28

### Le contrôle de l'échange

### Les mécanismes de base

- Le mode *Send & Wait*

- Problème : l'émetteur peut rester bloqué indéfiniment si M0 ou ACK est perdu

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 30

### Les mécanismes de base

- La reprise sur temporisation

- Time out = compteur
- Problème : que se passe t-il si l'ACK est perdu ?

Olivier Glück    Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux    31

### Les mécanismes de base

- Perte de l'ACK

- Remarque : le timer doit être bien réglé (compromis). Si trop grand ? Si trop petit ?
- Solution ? Un ACK d'ACK avant de délivrer M1 ?

Olivier Glück    Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux    32

### Les mécanismes de base

- Numérotation des messages émis
  - On utilise 2 compteurs (**Ns** en émission, **Nr** en réception)
  - Ns et Nr sont initialisés à zéro
  - Ns contient le numéro du prochain message à émettre
  - Nr contient le numéro du prochain bloc à recevoir
  - Ns est transmis de l'émetteur vers le récepteur
  - Un message n'est délivré côté récepteur que si le Ns reçu est égal au Nr local
  - Si  $Ns < Nr$ , le message a déjà été reçu, le récepteur le "jette" et l'acquitte de nouveau
  - Attend t-on pour envoyer  $M_{i+1}$  que  $M_i$  soit acquitté ?
  - $Ns > Nr$  est-il possible ?

Olivier Glück    Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux    33

### Les mécanismes de base

- Numérotation des messages émis

Evite la duplication et permet le contrôle de séquençement des données reçues

Olivier Glück    Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux    34

### Les mécanismes de base

- Perte de l'acquitement

Le deuxième M0 reçu est rejeté

Olivier Glück    Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux    35

### Les mécanismes de base

- Délai d'acquitement trop important

M1 n'a jamais été reçu et pourtant il est acquitté  
-> il faudrait numéroter aussi les acquittements !

Olivier Glück    Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux    36

## Les mécanismes de base

- **Attend-t-on pour envoyer  $M_{i+1}$  que  $M_i$  soit acquitté ?**
  - Mode *Send&Wait* :
    - on attend (pas adapté pour RTT grand)
    - il est quand même nécessaire de numéroter les acquittements
  - Si on n'attend pas, il faut pouvoir
    - stocker les messages non acquittés sur l'émetteur
    - numéroter les acquittements
- **$N_s > N_r$  est-il possible ?**
  - Possible dans le cas du slide précédent (même en Send&Wait avec non numérotation des ack)
  - Possible si on envoie  $M_{i+1}$  alors que  $M_i$  n'a pas été reçu (et donc pas acquitté)
  - Les messages n'arrivent alors pas dans le bon ordre sur le récepteur
  - -> soit on refuse les messages tels que  $N_s > N_r$
  - -> soit on stocke les messages désordonnés sur le récepteur

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      37

## Les mécanismes de base

- **Principe du piggybacking**
  - Quand une trame arrive de A, l'acquittement est envoyé par B dans la trame suivante à destination de A. Quand B n'a pas de message à envoyer à A, il envoie une trame d'acquittement pour éviter le déclenchement du temporisateur.
  - **Avantages** : meilleure utilisation de la bande passante et moins de trames isolées

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      38

## Efficacité d'un protocole

- **Notion de données utiles**

- **RTT - Round Trip Time**
- $T_a$  - temps d'attente entre la transmission du premier bit de  $M_i$  et le premier bit de  $M_{i+1}$
- **Efficacité du protocole sans erreur :**

**$E_0 = U/N$**   
 $N = \text{nb de bit total transmis (ou qui auraient pu être transmis)}$   
 $N = U + G + K + D * RTT$  ( $D = \text{débit nominal}$ )

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      39

## Efficacité du protocole

- **Cas d'une transmission avec erreur**
  - $p = (1 - T_{eb})^n$  probabilité pour qu'un bloc de  $n$  bits soit correctement transmis
  - ici,  $n = U + G + K$
  - L'efficacité du protocole avec erreur est alors :  
 $E = E_0 * p$   
 $E = U * (1 - T_{eb})^{U+G+K} / (U+G+K+D*RTT)$
- **Débit réel = débit vu par l'application**  
**Débit réel = Débit nominal (D) \* E**

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      40

## Les protocoles à anticipation

- Dans le mode Send & Wait, les performances sont dégradées du fait de l'attente de l'ACK avant d'envoyer un nouveau message.
- **Protocole à anticipation**
  - l'émetteur peut faire plusieurs émissions successives sans attendre l'ACK des messages précédents
  - -> il faut numéroter les acquittements
  - -> il faut mémoriser TOUS les messages non acquittés sur l'émetteur dans des "buffers"
  - -> quand un ACK arrive, l'émetteur peut libérer le buffer correspondant au(x) message(s) acquitté(s)
  - -> s'il n'y a plus de buffer libre, l'émetteur doit attendre l'arrivée d'un ACK pour continuer d'émettre

41

## Les protocoles à anticipation

- **Principe**

buffer 1				
buffer 2				
buffer 3				
buffer 4				

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      42

## Les protocoles à anticipation

- Fenêtre d'anticipation (notée  $W$ )
  - crédits d'émission dont dispose l'émetteur
- Taille optimale de la fenêtre
  - quand l'émission se fait en continue (l'émetteur n'attend jamais un ACK)
  - $W$  optimale =  $E[\lceil Ta/Tb \rceil] + 1$
  - dépend de RTT et de la taille de trame maximale

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      43

## Les protocoles à anticipation

- Gestion glissante de la fenêtre
  - quand un ACK avec  $Nr=i$  arrive, l'émetteur libère le buffer qui contient le message  $M_{i-1}$
  - exemple avec  $Ns$  et  $Nr$  stockés sur 3 bits chacun et  $W=3$  (taille de la fenêtre)
- Gestion sautante de la fenêtre
  - l'acquittement est différé et concerne plusieurs messages
  - si  $W=3$ ,  $M_0$ ,  $M_1$  et  $M_2$  sont acquittés en une seule fois
  - les émissions s'arrêtent quand les crédits d'émission sont épuisés
  - plus efficace car moins d'acquittements sont transmis mais moins efficace si l'acquittement est perdu car l'émetteur est alors bloqué pendant au moins 1 RTT

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      44

## Les protocoles à anticipation

- Gestion de la fenêtre avec  $W=3$ 
  - **Gestion glissante de la fenêtre**: Shows a sliding window where ACKs are received immediately, allowing the sender to move the window forward and release buffers.
  - **Gestion sautante de la fenêtre**: Shows a jumping window where ACKs are delayed, causing the sender to stop sending until the ACK arrives.

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      45

## Les politiques de reprise sur erreur

**Le rejet simple**

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      46

## Les politiques de reprise sur erreur

**Le rejet sélectif**

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      47

## Les politiques de reprise sur erreur

- Rejet simple ou sélectif ?
  - Rejet simple
    - tous les blocs reçus hors séquençement sont rejetés
    - le protocole est dit "Go Back N"
    - l'émetteur reprend la transmission à partir du message perdu
    - **mémoire du récepteur minimisée**,  $Wréception = 1$
  - Rejet sélectif
    - le récepteur mémorise les messages hors séquençement
    - l'émetteur ne retransmet que les messages erronés
    - $Wréception =$  nombre de messages déséquenceés pouvant être reçus
    - **transmission optimisée - mémoire importante en réception**

Olivier Glück      Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux      48

## Récapitulatif sur les fenêtres

- Principe de la fenêtre
  - Autorisation pour l'émetteur d'envoyer un certain nombre de trames avant de recevoir un acquittement du récepteur
  - Nombre déterminé par la taille de la fenêtre, correspondant à un ensemble de numéro de séquence
  - Numéros de séquences dans la fenêtre → numéros des trames envoyées et pas encore acquittées
  - Le récepteur maintient une fenêtre qui détermine l'ensemble des trames qu'il peut accepter hors séquence
  - La taille de la fenêtre de l'expéditeur peut être différente de celle du récepteur

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 49

## Récapitulatif sur les fenêtres

[http://wps.aw.com/aw\\_kurose\\_network\\_2/0,7240,227091-,00.html](http://wps.aw.com/aw_kurose_network_2/0,7240,227091-,00.html)

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 50

## Le contrôle de flux

- Le nombre de buffer sur le récepteur limité : l'émetteur ne doit pas émettre plus de données que le récepteur ne peut en accepter sinon les paquets en sus seront perdus
- Le contrôle de flux est le mécanisme qui consiste à asservir la cadence d'émission de l'émetteur sur les capacités de réception du récepteur

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 51

## Le contrôle de flux

- On appelle **crédit d'émission** (Ct) le nombre de blocs que l'émetteur est autorisé à transmettre
- Contrôle de flux implicite
  - le nombre de crédits est fixé une fois pour toute ; quand l'émetteur a épuisé ses crédits, il attend l'autorisation du récepteur pour reprendre l'émission
- Contrôle de flux explicite ou dynamique
  - le récepteur informe en permanence l'émetteur sur ses capacités de réception ; le message du récepteur contient le nouveau nombre de crédits disponibles

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 52

## Le contrôle de flux

[http://wps.aw.com/aw\\_kurose\\_network\\_2/0,7240,227091-,00.html](http://wps.aw.com/aw_kurose_network_2/0,7240,227091-,00.html)

- Il y a plusieurs types de contrôle de flux
  - contrôle de flux à l'interface
    - entre couches adjacentes
    - entre le terminal et le point d'accès au réseau
  - contrôle de flux de bout en bout
    - entre deux terminaux distants
- Contrôle de flux et réseaux haut-débit
  - L'application a du mal à consommer les données reçues
  - Entre le moment où le récepteur constate qu'il est plein et le moment où l'émetteur reçoit le message lui indiquant qu'il n'est plus autorisé à émettre (plus de crédit), beaucoup de messages sont perdus

Olivier Glück Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux 53

## La signalisation

## La signalisation

- Pour transférer des données sur une liaison, il est nécessaire de transférer des messages de signalisation pour :
  - établir la liaison, demande de la ligne, composition d' un numéro téléphonique, ...
  - contrôler la liaison durant l'échange (messages ACK, ...)
  - libérer les ressources en fin de communication
- La signalisation est l'ensemble de ces informations de supervision (ou de contrôle)
- Deux types
  - signalisation dans la bande
  - signalisation hors bande (par canal dédié)

Olivier Glück

Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

55

## La signalisation dans la bande

- Les informations de signalisation et de données empruntent le même canal de communication
- Un champ spécifique permet de distinguer la nature des informations

<b>Données de contrôle</b>	En-tête protocolaire (fanion, adresses, ...)	<b>Données de contrôle</b>
0 xxxxxxx		1 xxxxxxx
<b>Données applicatives</b>	Champ d'information	<b>Informations de signalisation</b>
<b>CRC</b>	Contrôle d'erreur	<b>CRC</b>

Olivier Glück

Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

56

## La signalisation hors bande

- Les informations de signalisation empruntent un canal dédié
- Les canaux de signalisation et de données peuvent être physiquement distincts ou emprunter des voies virtuelles (mécanismes de multiplexage)
- Exemples : RNIS, Frame Relay, ATM

Olivier Glück

Licence Informatique UCBL - Module LIF8 : Réseaux

57