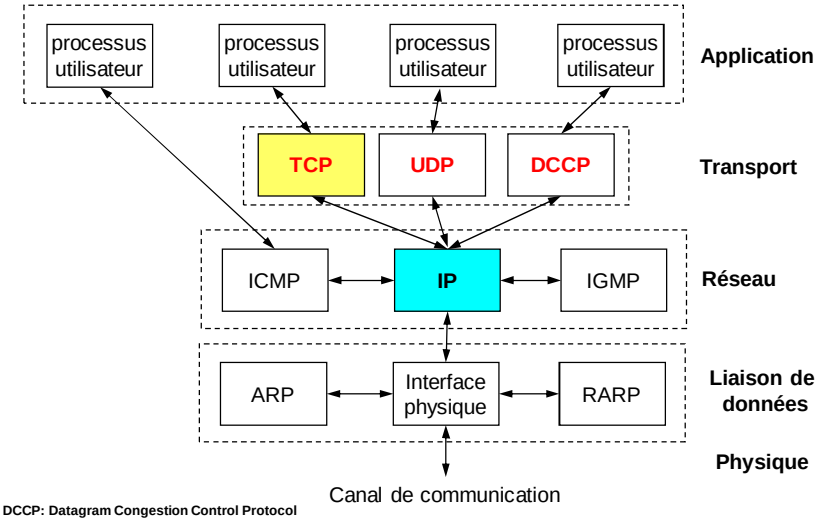
Protocole TCP
(Transmission Control Protocol)

M1 Info / 2020-2021 – Cours de Réseaux sans fil

Z. Mammeri

1. Généralités

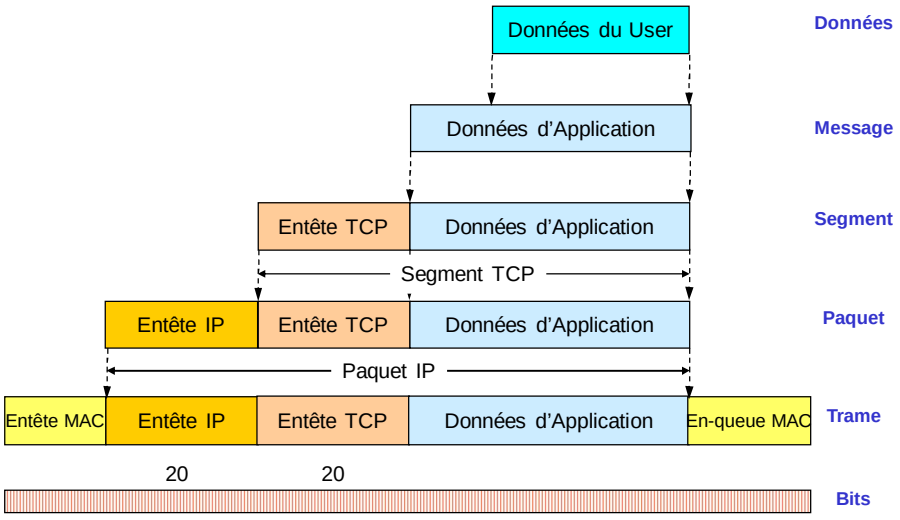
Architecture TCP/IP



DCCP: Datagram Congestion Control Protocol

1. Généralités

Encapsulation



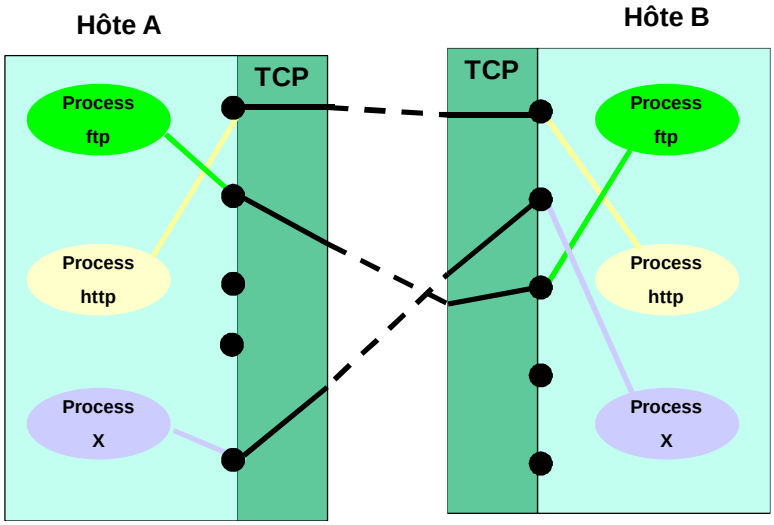
1. Généralités

Fonctions relevant du niveau Transport

- **Transport de bout en bout** de messages
- **Fragmentation/réassemblage** de messages
- **Contrôle d'erreurs (perte de segments, erreur d'entête TCP)**
- **Contrôle de flux (contrôle aux extrémités)**
- **Contrôle congestion (contrôle à l'intérieur du réseau)**
- **Séquencement de** de paquets et livraison ordonnée de messages
- **Multiplexage** de connexion
- **Sécurité** (si les niveaux inférieurs ne sont pas sécurisés)

1. Généralités

Concept de *Port* TCP



1. Généralités

Concept de *Port* TCP

- Port : « guichet » d'accès aux services applicatifs
- Quadruplet < #Port source, #Port destination, @IP source, @IP destination >
  ➔ identification sans ambiguïté des flux
- (#Port, @IP) = Socket
- (Socket_source, Socket_Destination) = connexion TCP

- Numéros de port codés sur 16 bits ➔ 64 k ports
- Ports réservés (*ftp*, *http*,…) : numéros inférieurs à 1024,
- Ports libres (attention à la sécurité sur ces ports)

1. Généralités

Concept de *Port* TCP

- **Pourquoi utiliser des ports ?**
  - Classer les applications par catégorie
  - Allocation et gestion de ressources (CPU, mémoire, nombre de threads…)
  - Sécurité :
    - Contrôler ou interdire les accès sur certains ports
    - Reconnaître les flux (http, ftp…) et détecter les intrusions

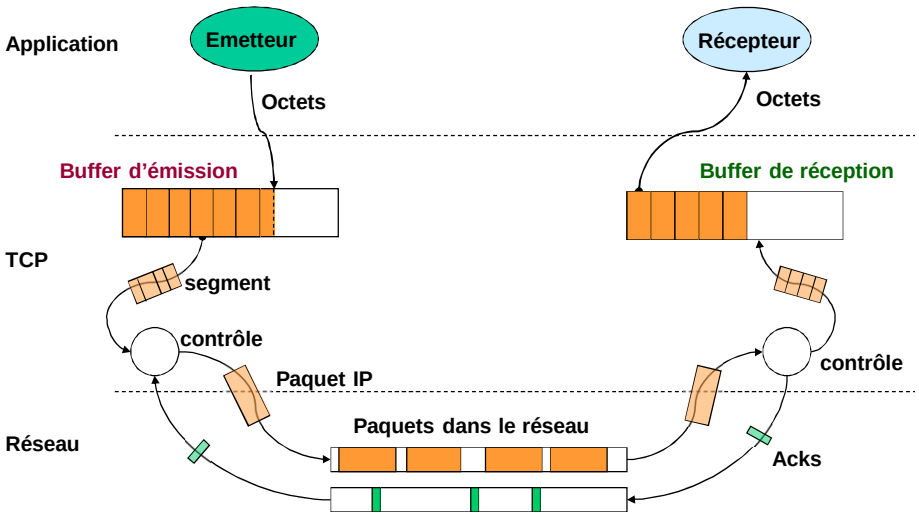
1. Généralités

Principe général de traitement des messages par TCP

- TCP découpe en segments les données applicatives à envoyer.
- A l'émission d'un segment, TCP-émetteur enclenche un temporisateur et attend que l'autre extrémité ait acquitté la réception du segment. Si l'acquittement n'est pas reçu avant épuisement du temporisateur, le segment est retransmis.
- A la réception d'un segment, TCP-récepteur envoie ou non un acquittement (on acquitte au moins toutes les x unités de temps)
- TCP-récepteur remet dans l'ordre les données reçues (si nécessaire) avant de les passer à l'application
- TCP-récepteur rejette les segments dupliqués
- TCP réalise du contrôle de flux et du contrôle de congestion

1. Généralités

Buffers de TCP



1. Généralités

Flot vs Message

- **Mode flot (*bit stream*)**
  - Mode de TCP
  - Il n'y a pas de frontière entre les bits générés par l'application source.
  - La source dépose en 'continu' ou non des flots de bits dans le buffer TCP
  - TCP extrait un certain nombre de bits consécutifs pour former un segment et l'envoie
- **Mode message**
  - Mode de UDP
  - A chaque message de l'application correspond un segment UDP.
  - La source dépose ses messages un par un dans le buffer UDP
  - UDP extrait les segment un par un et les envoie.

1. Généralités

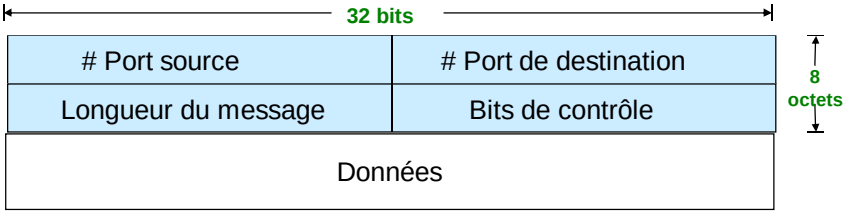
Interface TCP (interface sockets)

- **OPEN** (local port, socket distante, mode actif/passif, ...) → nom local de connexion
- **SEND** (nom local de connexion, adresse de buffer, nombre d'octets, indicateur d'urgence, timeout...)
- **RECEIVE** (nom local de connexion, adresse de buffer, nombre d'octets) → nombre d'octets, indicateur d'urgence
- **CLOSE** (nom local de connexion)
- **STATUS** (nom local de connexion) → Infos d'état
- **ABORT** (nom local de connexion)

Toute la complexité de TCP est cachée aux applications. Elle apparaît uniquement quand on s'intéresse aux performances.

2. Format de segment TCP

Segment UDP



$$RUdp = \frac{TIU}{EtM + EIP + EUdp + TIU + EqM} = \frac{TIU}{EtM + 20 + 8 + TIU + EqM}$$

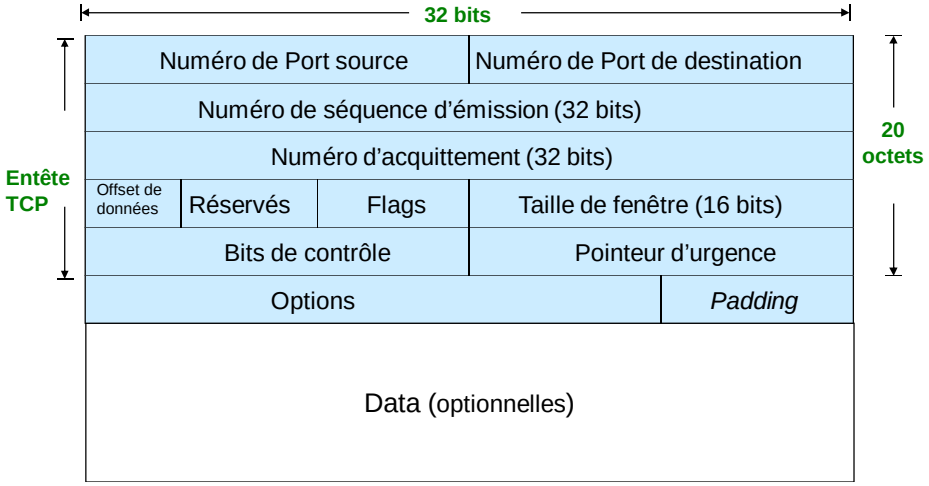
RUdp : rendement de UDP TIU: Taille information utile EUdp: Entête UDP EIP: Entête IP
EtM : Entête MAC EqM : Enqueue MAC

$$RUdp\ (Ethernet) = \frac{TIU}{Preambule + EtM + 20 + 8 + TIU + EqM} =$$

$$\frac{TIU}{8 + 14 + 20 + 8 + TIU + 4} = \frac{TIU}{54 + TIU}$$

2. Format de segment TCP

Segment TCP



2. Format de segment TCP

Segment TCP

- Port source et Port destination : indiquent les ports utilisés par les applications.
- Numéro de séquence d'émission : numéro du premier octet de données dans le segment (sauf pour un segment avec SYN=1). Si le bit SYN est à 1 (c.-à-d. si le segment est une demande de connexion), le numéro de séquence signale au destinataire que le prochain segment de données qui sera émis commencera à partir de l'octet *Numéro de séquence d'émission* + 1.
- Numéro d'acquittement : indique le numéro du prochain octet attendu par le destinataire. Si dans le segment reçu FIN=1 et #Seq= x, alors le #Ack renvoyé est x+1 (x est interprété comme étant le numéro de l'octet FIN et que cet octet est acquitté).
- Offset de données : des options (de taille variable) peuvent être intégrées à l'entête et des données de bourrage peuvent être rajoutées pour rendre la longueur de l'entête multiple de 4 octets. L'Offset indique la position relative où commencent les données.
- Taille de fenêtre : indique le nombre d'octets que le destinataire peut recevoir. si Fenêtre = *F* et que le segment contient un Numéro d'acquittement = *A*, alors le récepteur accepte de recevoir les octets numérotés de A à A + F -1.
- Bits de contrôle : séquence de contrôle (CRC) portant sur l'entête de segment.

2. Format de segment TCP

Segment TCP

- Flags (URG, ACK, PSH, RST, SYN, FIN)
  - **URG = 1 si le segment contient des données urgentes et = 0 sinon.**
  - **ACK = 1 indique que le numéro d'acquittement est valide et il peut être pris en compte par le récepteur. ACK = 0 si l'accusé de réception est non valide.**
  - **PSH = 1 indique que les données doivent être remises à l'application dès leur arrivée et de ne pas les stocker dans une file d'attente.**
  - **RST = 1 pour demander la réinitialisation d'une connexion.**
  - **SYN = 1 et ACK = 0 servent à demander l'établissement de connexion.**
  - **SYN = 1 et ACK = 1 servent à accepter une demande de connexion.**
  - **FIN = 1 indique que l'émetteur n'a plus de données à émettre et demande de rompre la connexion de son côté.**
- Pointeur d'urgence : indique l'emplacement (numéro d'octet) des données urgentes dans un segment. Il es valable uniquement si le bit URG=1.
- Options (taille variable) : options nécessitant des traitements particuliers.

4. Contrôle d'erreurs

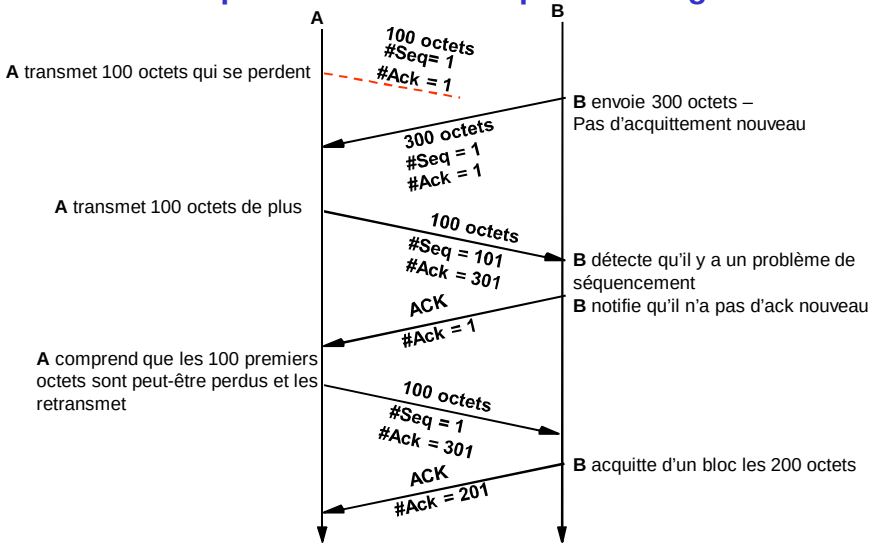
Principe de base du contrôle d'erreur

- Emission de segment suivi d'un armement de temporisateur (timer)
- Utilisation de numéro de séquence en émission
- On numérote les octets et non les segments
- Si un Ack est reçu avant le déclenchement du timer : OK
- Deux mécanismes de retransmission utilisés conjointement :
  - **Retransmission sur Timeout (mécanisme usuel)**
  - **Retransmission rapide (mécanisme utilisé quand le délai réel de transfert est faible comparé à la valeur du timer)**

  Si l'émetteur reçoit trois Ack portant le même numéro d'acquittement inférieur à celui attendu, il retransmet le segment non acquitté sans attendre la fin de temporisation. En effet, si le récepteur reçoit le segment k, mais pas le segment k-1, il renvoie l'Ack correspondant au segment k-2 tant qu'il reçoit des segments autres que le k-1)

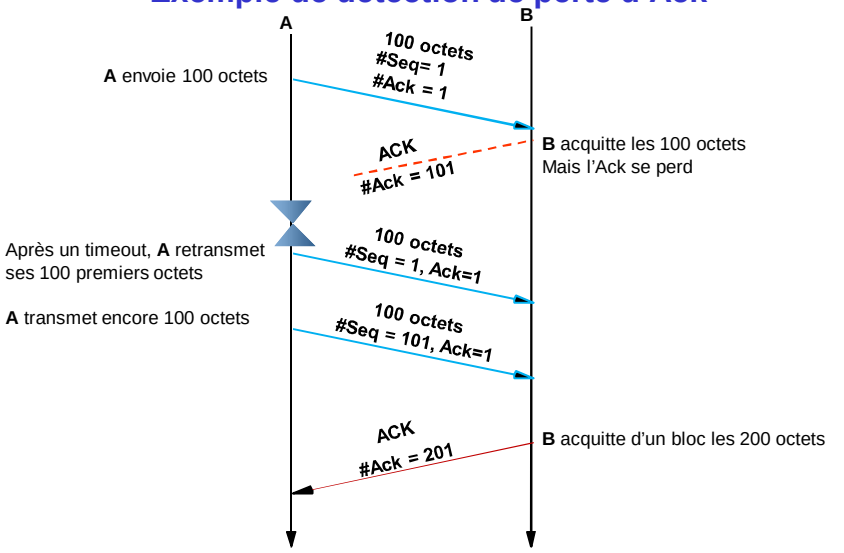
4. Contrôle d'erreurs

Exemple de détection de perte de segment



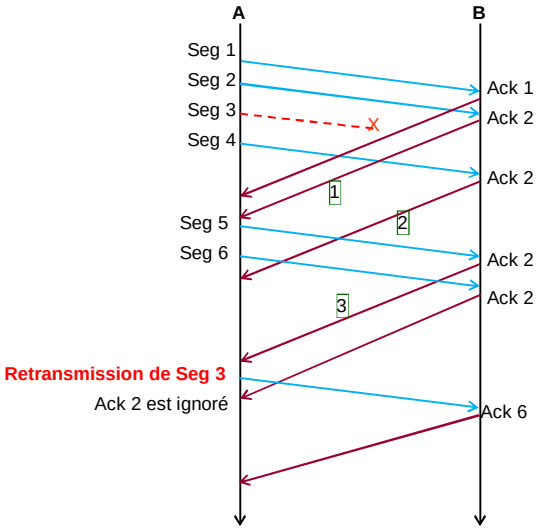
4. Contrôle d'erreurs

Exemple de détection de perte d'Ack



4. Contrôle d'erreurs

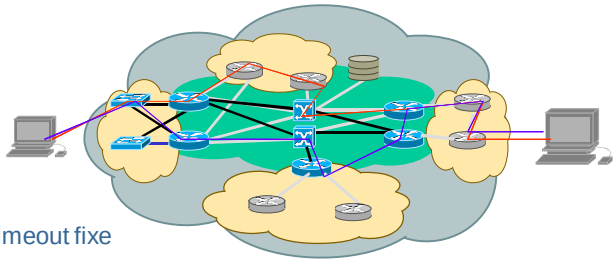
Exemple de retransmission rapide



4. Contrôle d'erreurs

Valeur d'armement du temporisateur

- Le temps de traversée du réseau est variable d'un segment à l'autre



- Valeur de timeout fixe
  - **Valeur trop basse : détection de fausses pertes et retransmissions inutiles**
  - **Valeur trop élevée : beaucoup d'attente avant de décider de retransmettre en cas de perte effective**
- TCP utilise un algorithme adaptatif de calcul de la valeur du time-out (être à l'écoute du réseau et fixer la valeur du timer en conséquence)
- Problème : compromis entre la précision de l'état du réseau et le coût de l'algorithme

4. Contrôle d'erreurs

Algorithme de Jacobson

- On part avec une valeur de *RTTestimé* (RTT: round trip time) par défaut
- A chaque réception d'Ack, on détermine le temps qu'a mis l'Ack pour être reçu, *NouveauRTT*
- A chaque réception de nouveau Ack, ré-estimer la valeur du RTT par :

$$RTTestimé = (\alpha * RTTestimé) + (1 - \alpha) NouveauRTT$$

- La valeur d'armement du timer, dite RTO (retransmission TimeOut) est calculée par la formule suivante qui évite des valeurs trop élevées ou trop basses suite aux estimations :

$$RTO = Min \{BorneSupRTO, Max\{BorneInfRTO, \beta * RTTestimé\}\}$$

- *BorneInfRTO*, *BorneSupRTO*, α et β sont fixées par configuration. α <1 et β >1.
- Beaucoup d'implantations de TCP utilisent **α = 0,875 et β = 2**

4. Contrôle d'erreurs

Problème avec l'algorithme de Jacobson

- Idéal pour le calcul du RTO : on reçoit un Ack pour CHAQUE segment
- Inconvénient : on ne peut plus bénéficier des Ack groupés
- TCP réel
  - **un Ack peut être associé à 1 segment, plusieurs segments, un morceau de segment ou à des morceaux contigus de segments.**
  - Cas de retransmission :
    - **Quand TCP retransmet un segment et puis il reçoit un acquittement : est-ce que cet Ack correspond au segment initial ou bien au segment retransmis ? TCP n'a aucun moins de distinguer les deux cas.**
    - **Associer l'Ack au segment le plus ancien peut conduire à une surestimation du *NouveauRTT* si plusieurs tentatives de retransmissions ont été effectuées.**
    - **Associer l'Ack au dernier segment émis peut conduire à une sous-estimation du *NouveauRTT*.**

4. Contrôle d'erreurs

Algorithme de Karn

- Une des solutions utilisées dans la pratique pour remédier au problème avec l'algorithme de Jacobson est connue sous le nom d'algorithme de Karn :
  - **Ne pas mettre à jour la valeur de *RTTestimé* en cas de retransmission**
  - **A chaque de retransmission : calcul d'une valeur dite *RTOaugmenté* par la formule suivante (λ vaut généralement 2 et RTO est la dernière valeur de RTO fournie par l'algorithme de Jacobson) :**

$$RTOaugmenté = RTO^* \lambda$$

  - **Armer le timer avec la valeur *RTOaugmenté*.**
  - **Dans la pratique, après *n* retransmissions consécutives, *RTOaugmenté* vaut RTO^*2^n (augmentation exponentielle)**

5. Contrôle de congestion

Principe de base

- Les applications doivent s'adapter aux conditions du réseau et non le contraire
  - **Quand le réseau est sous-chargé, TCP émetteur augmente le débit**
  - **Quand le réseau est jugé surchargé, TCP émetteur réduit le débit**
- Problème avec les retransmissions :
  - **Un utilisateur non averti (ou malicieux) pourrait se dire « je transmets avec un débit élevé et en cas de perte, je retransmets ».**
  - **Sans précautions, les retransmissions aggravent la congestion. En effet, la congestion de certains routeurs conduit à la perte de segments (car ils sont rejetés par des routeurs saturés). Ensuite, les nœuds d'extrémité qui ont perdu leurs segments retransmettent ce qui augmente la charge du réseau et donc à plus de pertes et ainsi de suite jusqu'à ce que le réseau se bloque complètement.**
- L'application émettrice doit aussi tenir compte de l'application réceptrice (crédit)
- Conséquence : le débit de l'émetteur dépend de la charge du réseau et du crédit que lui accorde le récepteur

5. Contrôle de congestion

Principes de base

- **Structures de données utilisées par TCP**
  - Fenêtres glissantes (stocker les segments avant leur transmission, avant de les passer à l'application et pour contrôler les Ack)
  - Fenêtre de crédit (pour ne pas saturer le récepteur)
  - Fenêtre de congestion de l'émetteur (notée Cwd : congestion window) : c'est la taille maximum (en octets) que TCP-émetteur peut émettre avant d'être obligé d'attendre un Ack. Cwd n'a pas de valeur fixe (comme pour la couche liaison de données) mais une valeur dynamique.

Hypothèse de TCP : si la source ne reçoit pas d'Ack, la cause la plus probable est une perte de segment due à une congestion d'un des routeurs traversés

- **Hypothèse non vraie dans le cas des réseaux sans fil**

5. Contrôle de congestion

Stratégie « Additive increase – Multiplicative decrease »

« Démarrage lent – Diminution dichotomique » ou « Augmentation lente – Réduction drastique »

- Le nombre d'octets que l'émetteur peut transmettre à un instant donné est limité à une quantité dite *Fenêtre Autorisée* :

  Fenêtre autorisée = Min {Fenêtre de contrôle de flux, Fenêtre de congestion }

  Fenêtre de contrôle de flux = Crédit – nombre d'octets non encore acquittés

- Démarrer la transmission avec une valeur de Cwd égale à *Cwd_min* (qui est un paramètre de configuration de réseau et qui correspond à un segment)

- Si l'Ack revient avant la fin du timer, augmenter la fenêtre de congestion

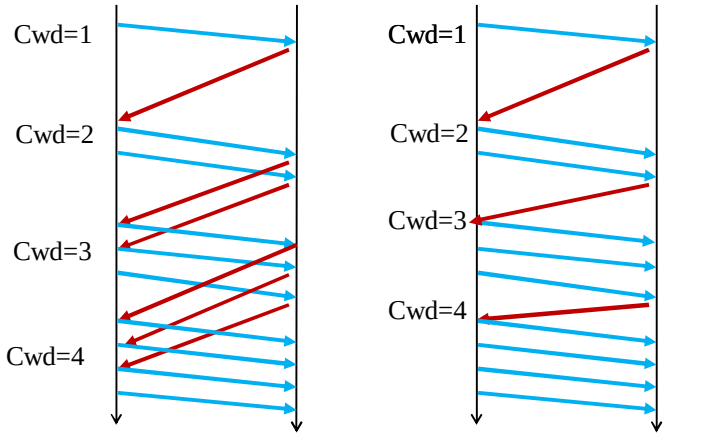
  Cwd = Cwd + TailleSegment

- Si l'Ack ne revient pas, réduire de moitié la fenêtre de congestion

  Cwd = Cwd/2

5. Contrôle de congestion

Exemple de « Additive increase »

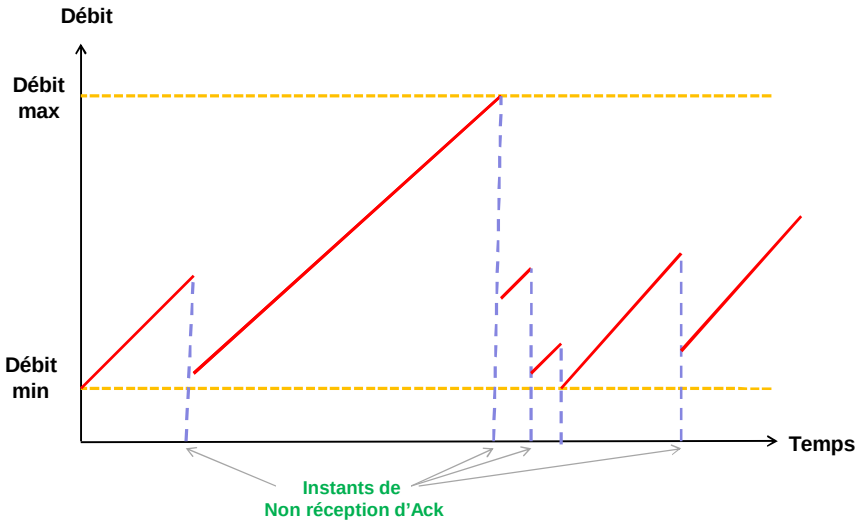


Ack segment par segment

Ack par bloc de segments

5. Contrôle de congestion

Exemple de changement de débit



6. Autres sur TCP

TCP avancés

- **TCP : Reno, New Reno, Vegas, Tahoe…**
  - Algorithmes plus élaborés pour l'estimation du RTT et calcul du RTO
  - Algorithmes plus élaborés pour le contrôle de congestion
- **TCP pour les réseaux sans fils**
- **TCP « light » (pour les réseaux de capteurs…)**