

RES101

Invariants fonctionnels

3. FIABILISATION DE LA LIAISON

Fiabilisation de la liaison

- La fiabilisation de la liaison consiste à surveiller que la liaison fonctionne « correctement », c'est-à-dire que les messages arrivent correctement.
- Elle consiste en
 - Protection d'intégrité : détection des erreurs lors de la transmission
 - Contrôle d'erreur : mécanismes de retransmissions en cas d'erreur
 - Contrôle de flux : mécanismes pour éviter de noyer le récepteur
 - Contrôle de congestion : mécanismes pour éviter de saturer le chemin entre l'émetteur et le récepteur

Détection d'erreur

- On dit qu'il y a une erreur lorsqu'il y a au moins 1 bit différent entre la trame envoyée et la trame reçue
- Détection d'erreur
 - Lors de la réception
 - Sur la trame reçue
 - Sans connaître la trame envoyée
 - Nécessaire pour la signalisation et certains types d'information
 - On souhaite identifier qu'il y a une erreur mais pas :
 - Localiser l'erreur
 - Corriger l'erreur

Détection d'erreur

- **Redondance simple**
 - **Principe :**
 - Les bits sont répétés plusieurs fois
 - Le récepteur compare les bits censés être identiques, s'il y a une différence l'erreur est détectée
 - **Exemple :**
 - Message « 110100 » : 6 bits utiles
 - L'émetteur envoie « 110100110100 » : 6 bits utiles + 6 bits de redondance
 - **Limitation :** Réduit le débit, plus il y a de bits de redondance, moins le ratio nombre de bits utiles sur nombre de bits total est grand, et donc plus le débit utile est faible.

Détection d'erreur

- **Checksum**

- **Principe :**

- L'émetteur fait la somme des bits utiles et ajoute le résultat à la fin du message
 - Le récepteur fait la somme des bits utiles reçus et la compare à la valeur reçue
 - S'il y a une différence, une erreur est détectée

- **Exemple :**

- Message « 110100 »

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & \\ \hline 11 & \text{xor} & 01 & & & & \\ = & & & & & & \\ 10 & \text{xor} & 00 & & & & \\ = & & & & & & \\ 10 & & & & & & \end{array}$$

- On envoie « 11010010 » : 6 bits utiles + 2 bits de redondance

- **Limitation :** Une erreur sur 1 seul bit est détectée, mais pas forcément un burst d'erreurs sur des bits successifs

Détection d'erreur

- **CRC**
 - Cyclic Redundancy Check
 - **Principe :**
 - On transforme le message en binaire en polynôme
 - On divise ce polynôme par le polynôme générateur du CRC choisi (connu) et on obtient un reste
 - On envoie le polynôme initial ainsi que le reste obtenu
 - Le récepteur fait l'opération de division si le reste obtenu est différent du reste envoyé, une erreur est détectée
 - **Exemple :**
 - Message « 1011011 »
 - Polynôme message $M(x) = x^6 + x^4 + x^3 + x + 1$
 - On veut ajouter 4 bits de redondance $\Rightarrow x^4 M(x)$
 - Polynôme générateur connu de l'émetteur et du récepteur : $D(x) = x^4 + x^3 + 1$
 - On fait la division dans $\mathbb{Z}/2\mathbb{Z}$
 - $x^4 M(x) = (x^6 + x^5 + x^2 + 1)D(x) + 1$
 - Le reste est donc le polynôme $C(x) = 1$
 - On envoie $x^4 M(x) + C(x) = 10110110001$

Contrôle d'erreur

- Le contrôle d'erreur est la gestion de la reprise sur erreur : comment se passent les retransmissions lorsqu'une erreur a été détectée par le mécanisme de détection d'erreur, ou qu'une trame a été rendue illisible par une collision, ou a été perdue
- **Mécanisme ARQ**
 - Automatic Repeat Request
 - **Principe :**
 - Les messages sont protégés par une redondance
 - Le récepteur détecte la validité d'un message reçu et en informe l'émetteur grâce à un acquittement
 - L'émetteur retransmet les trames erronées

Contrôle d'erreur ARQ

- **Numérotation**

- Chaque trame (message) d'information et d'acquittement doit être numérotée
- Le numéro de la trame envoyée est appelé $N(S)$
- Le numéro de la prochaine trame attendue est appelé $N(R)$
- Les numéros doivent être synchronisés entre l'émetteur et le récepteur en début de communication grâce à une ouverture de connexion

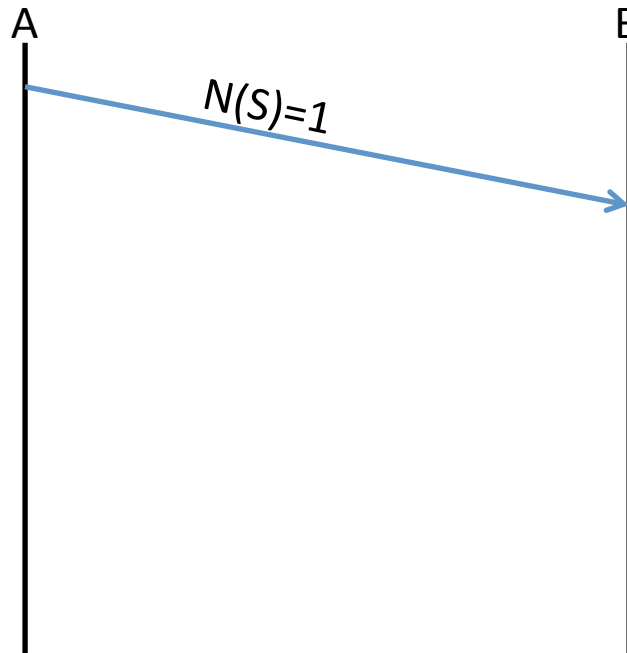
- **Fenêtres**

- L'émetteur et le récepteur disposent d'une mémoire qui leur permet d'envoyer ou de recevoir plusieurs trames
- Fenêtre d'émission :
 - buffer chez l'émetteur
 - contient les trames envoyées mais non encore acquittées
- Fenêtre de réception :
 - buffer chez le récepteur
 - contient les trames reçues encore en cours de traitement

Contrôle d'erreur ARQ

- **Stop and Wait**

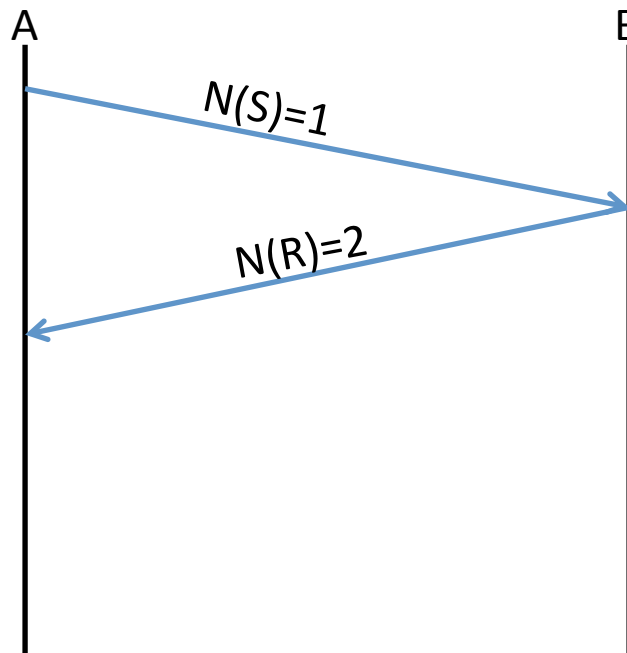
- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



Contrôle d'erreur ARQ

- **Stop and Wait**

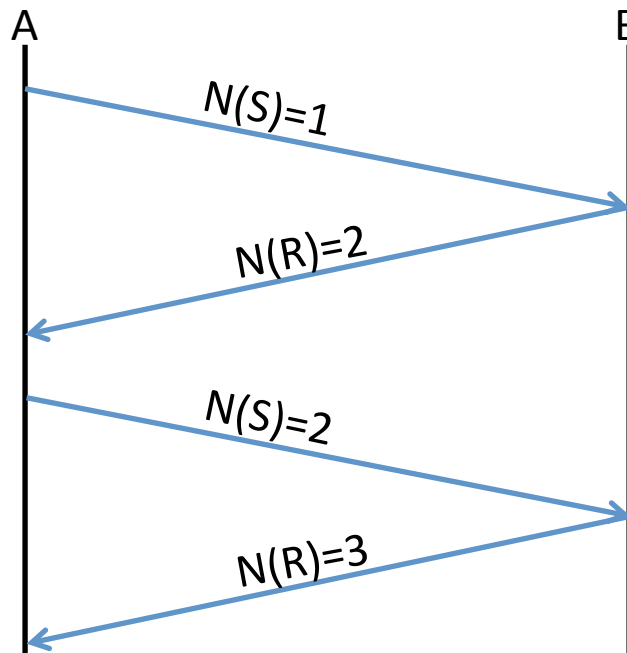
- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



Contrôle d'erreur ARQ

- **Stop and Wait**

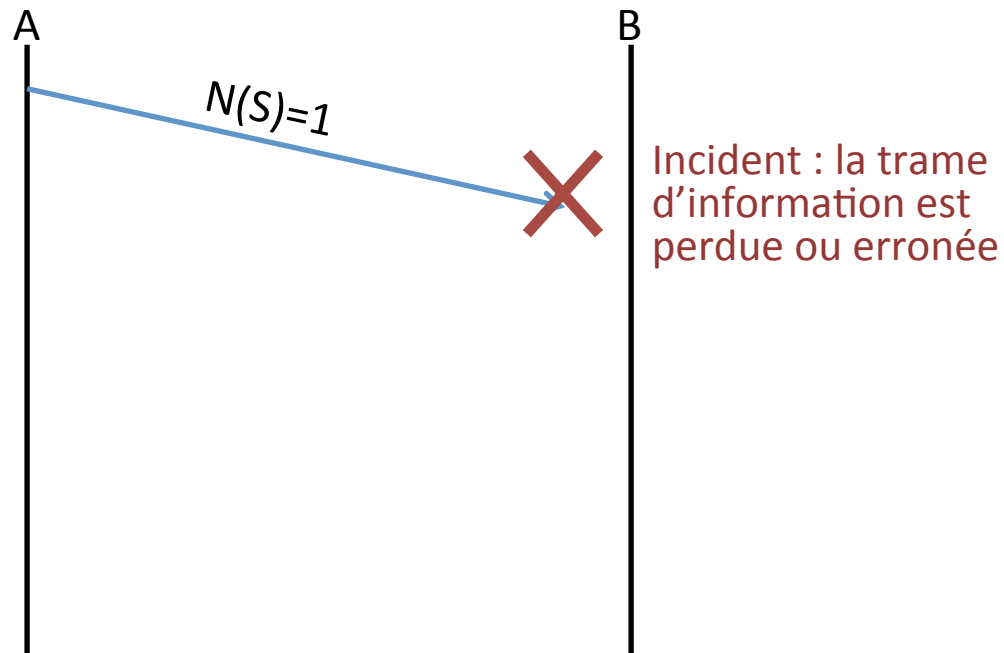
- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



Contrôle d'erreur ARQ

- **Stop and Wait**

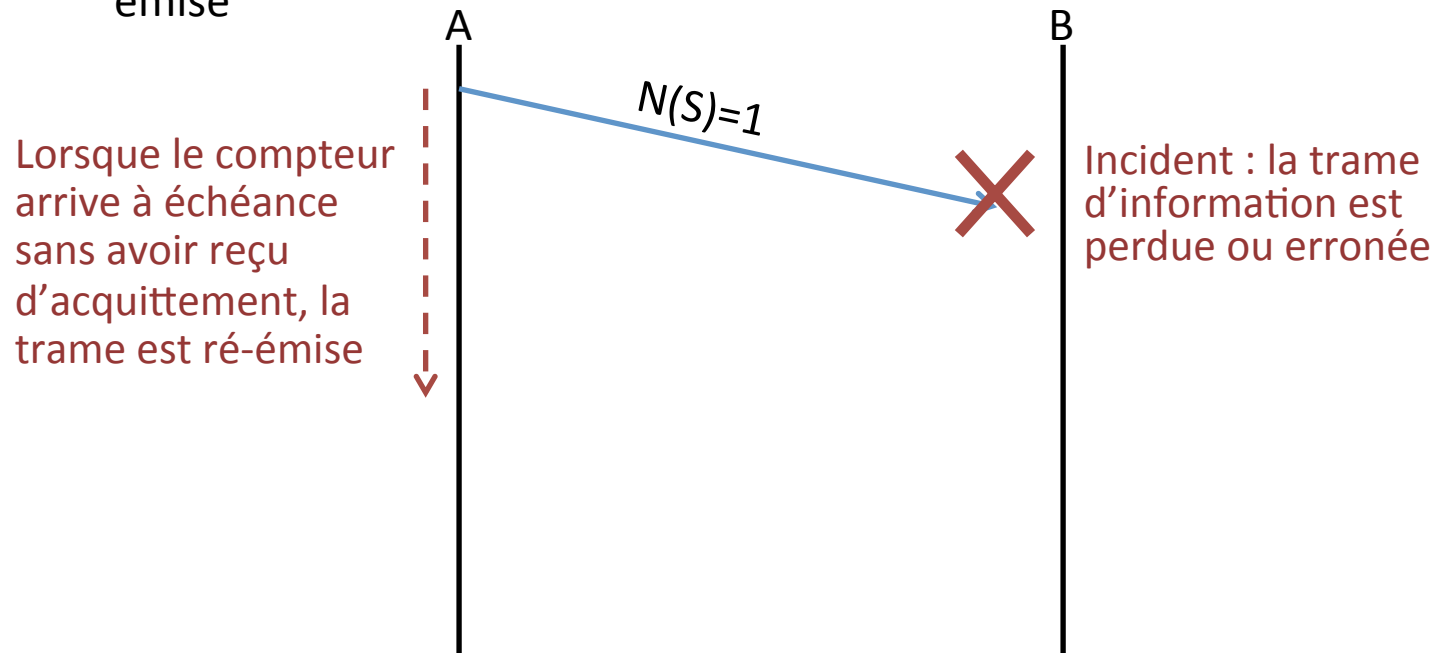
- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



Contrôle d'erreur ARQ

- **Stop and Wait**

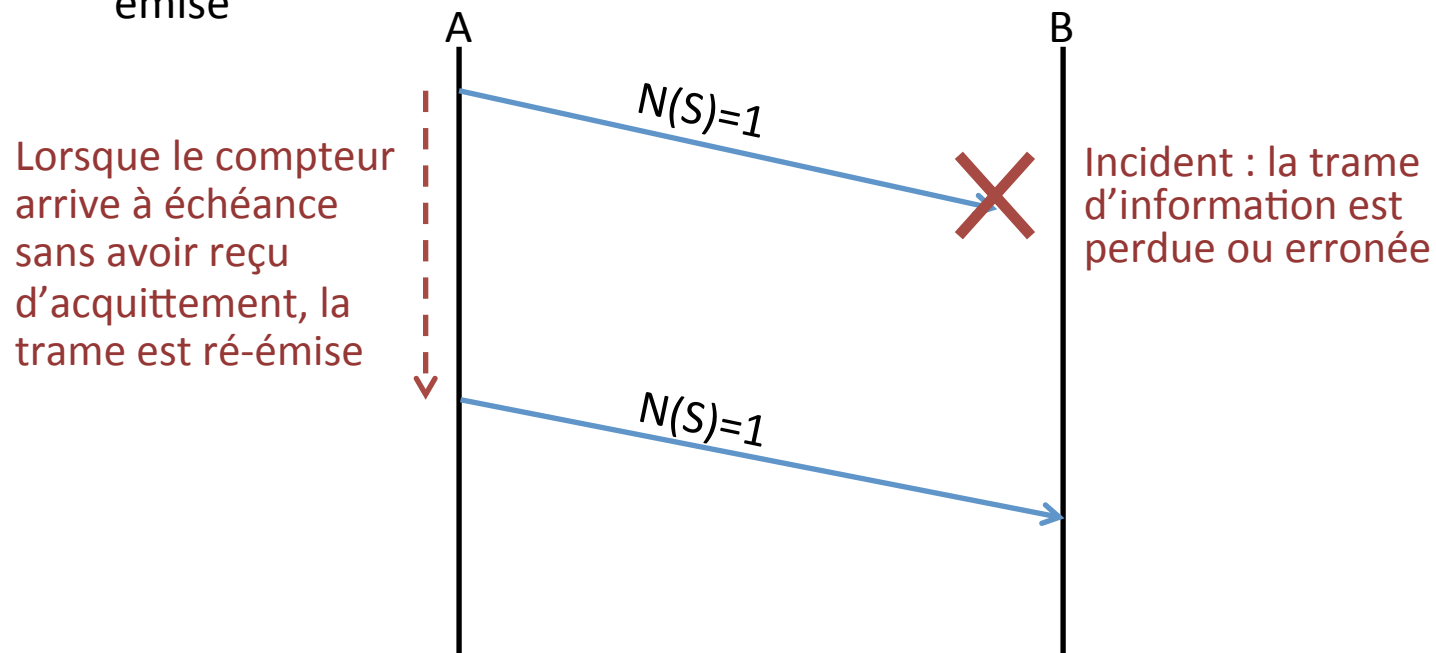
- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



Contrôle d'erreur ARQ

- **Stop and Wait**

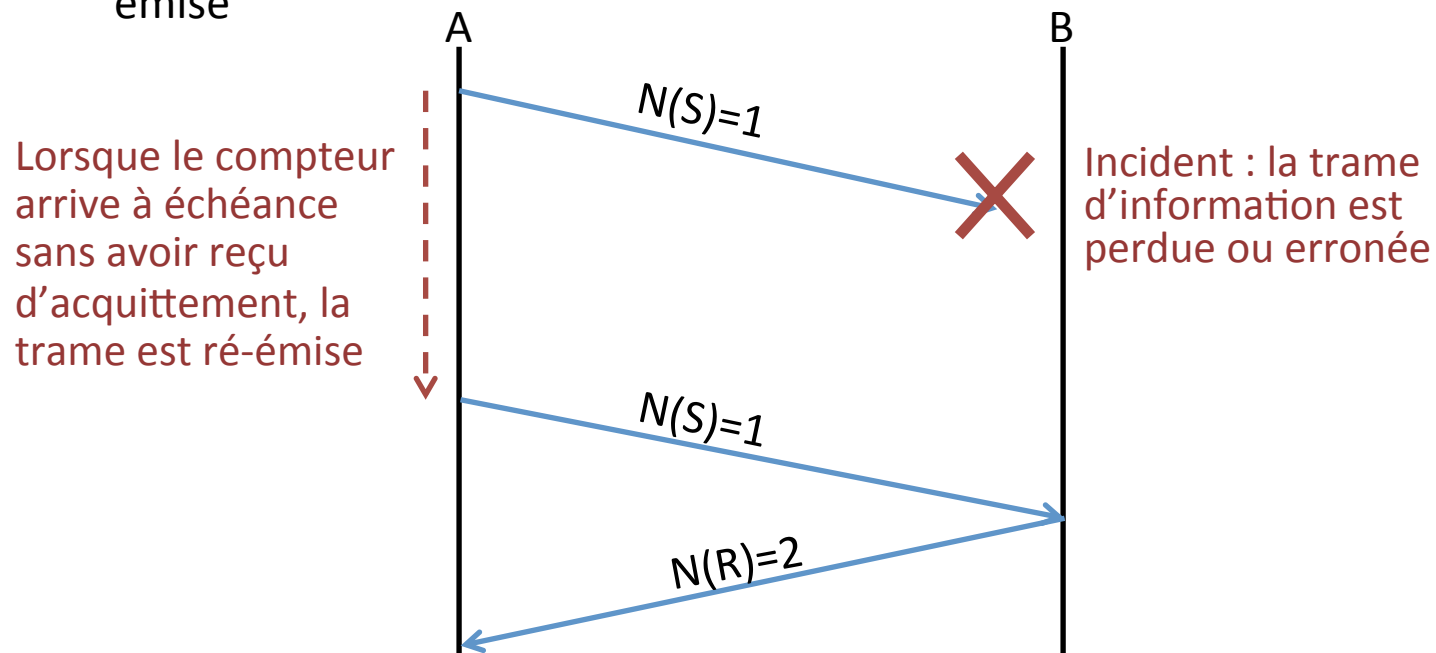
- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



Contrôle d'erreur ARQ

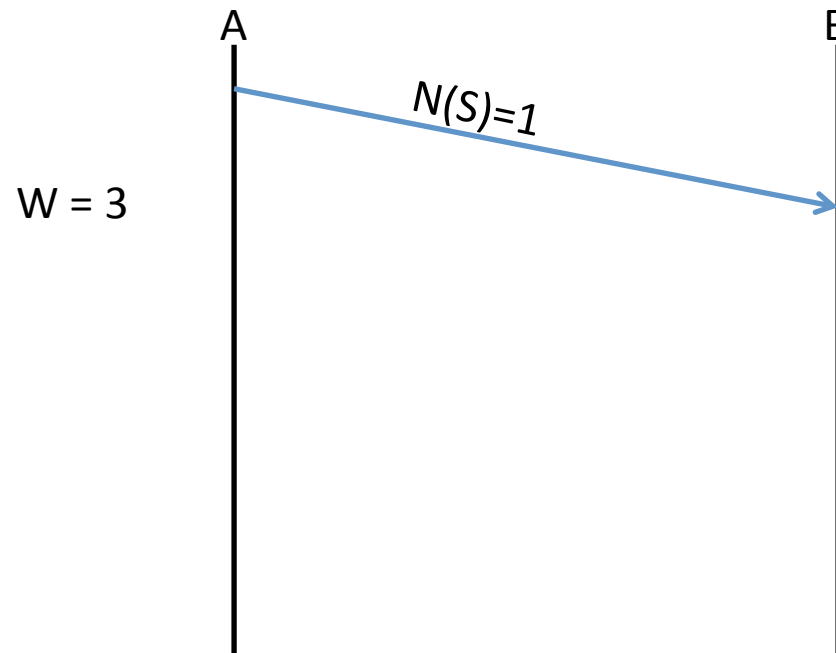
- **Stop and Wait**

- Fenêtre d'émission de taille 1
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur envoie une trame et attend l'acquittement avant d'envoyer la trame suivante
- En l'absence d'acquittement reçu pendant un certain délai, la trame est ré-émise



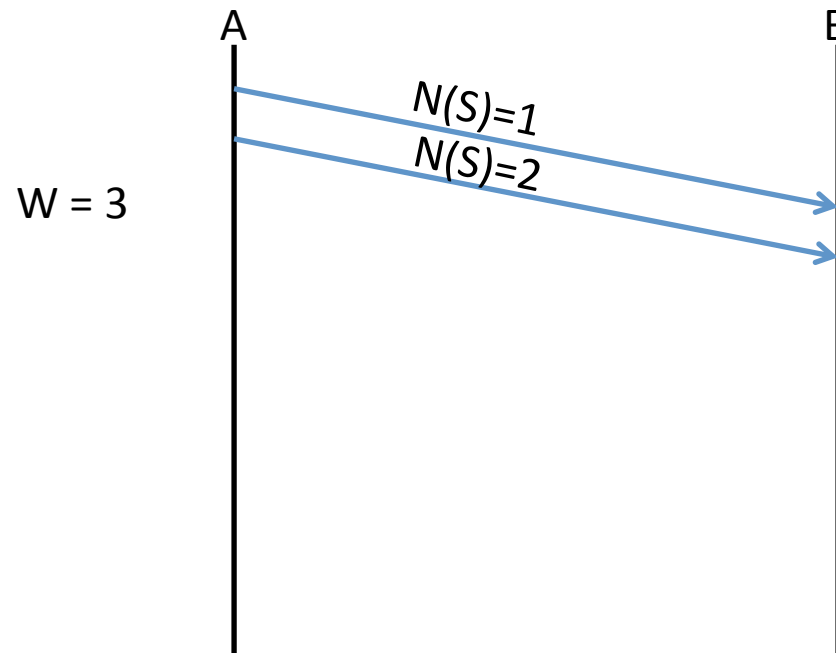
Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



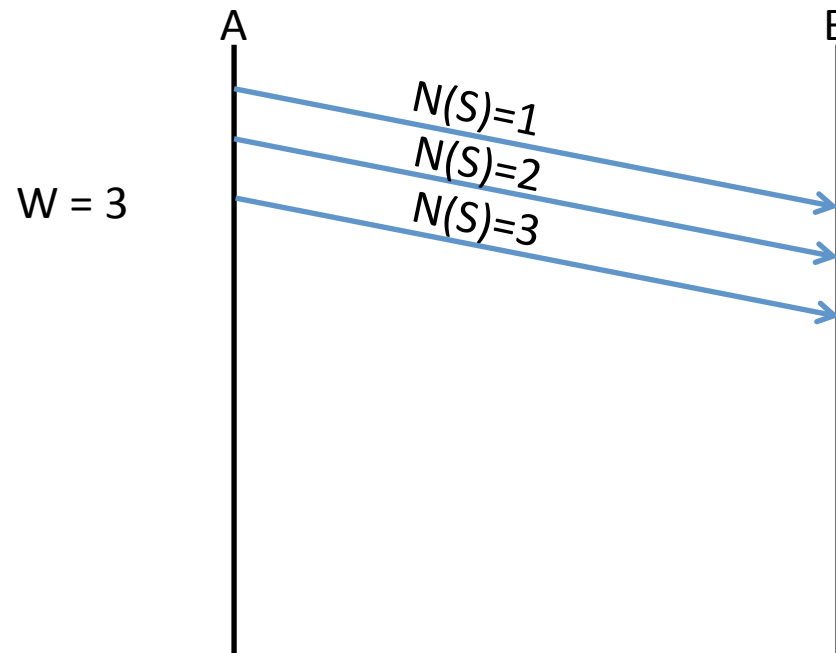
Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



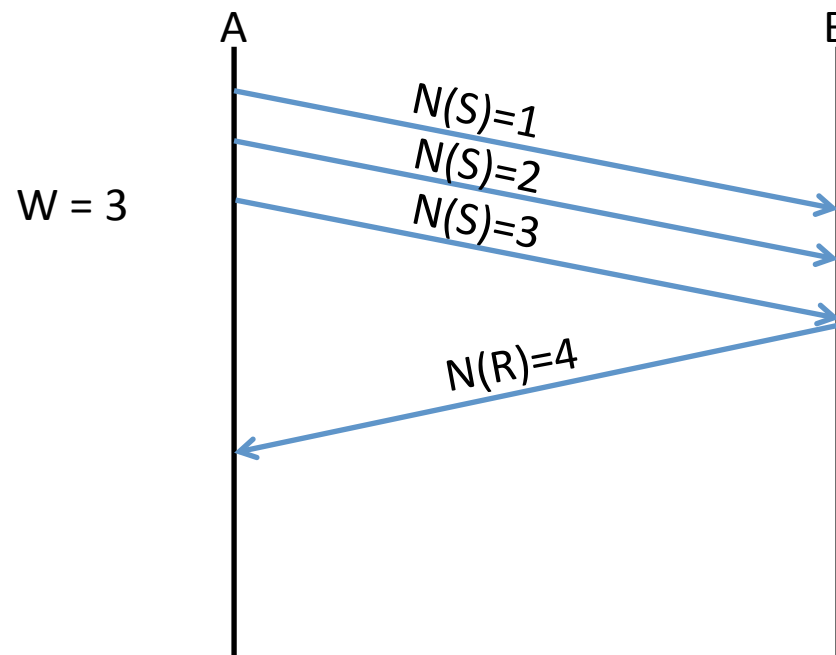
Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



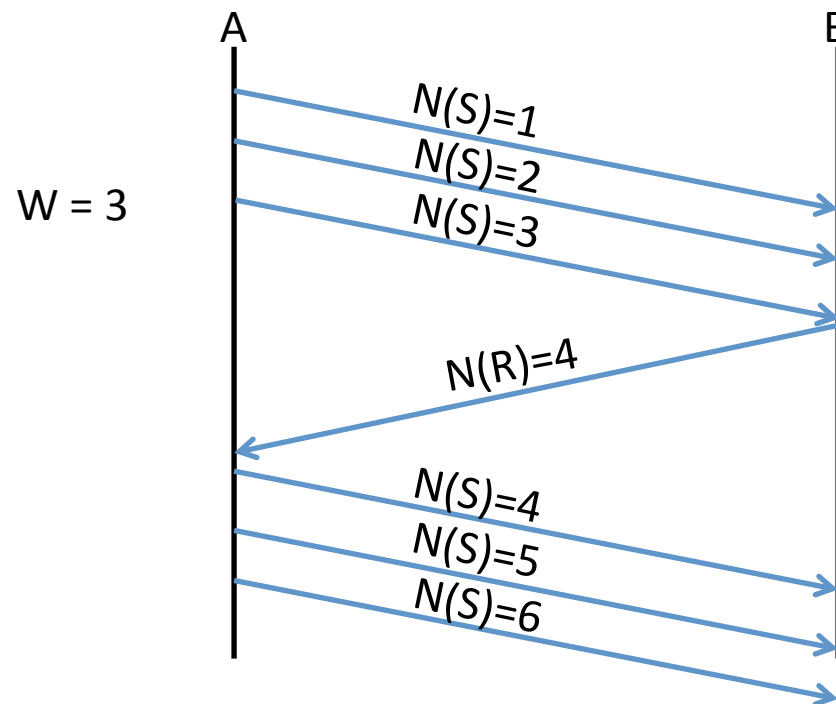
Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



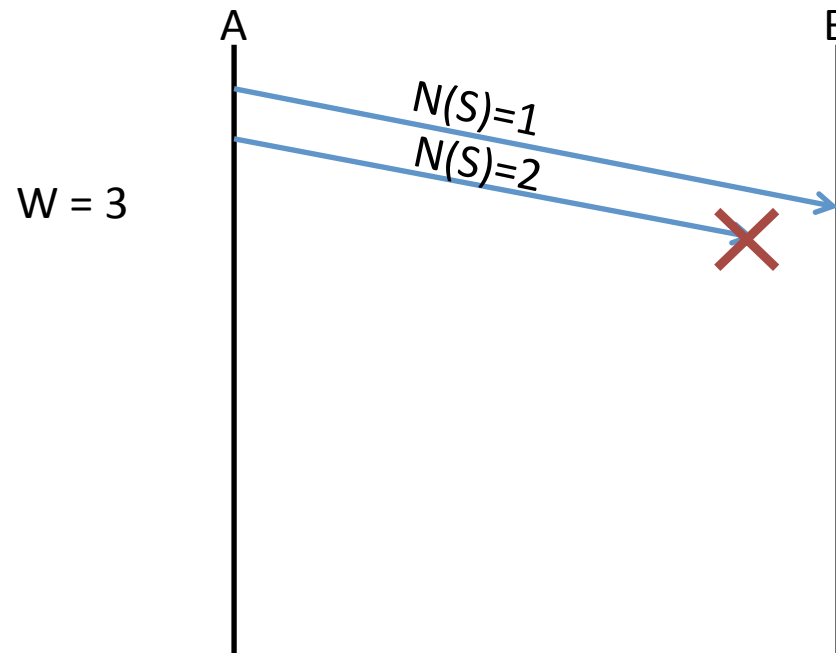
Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



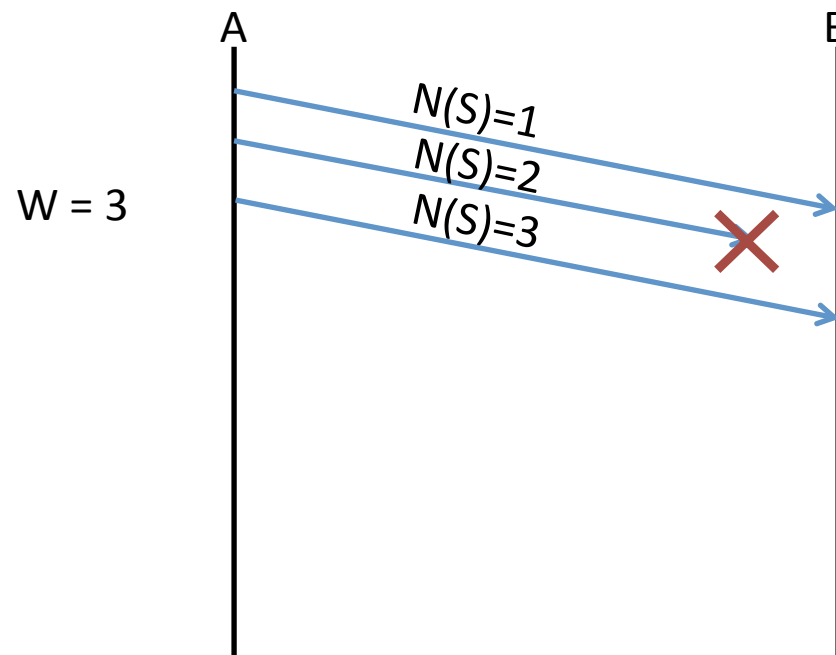
Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



Contrôle d'erreur ARQ

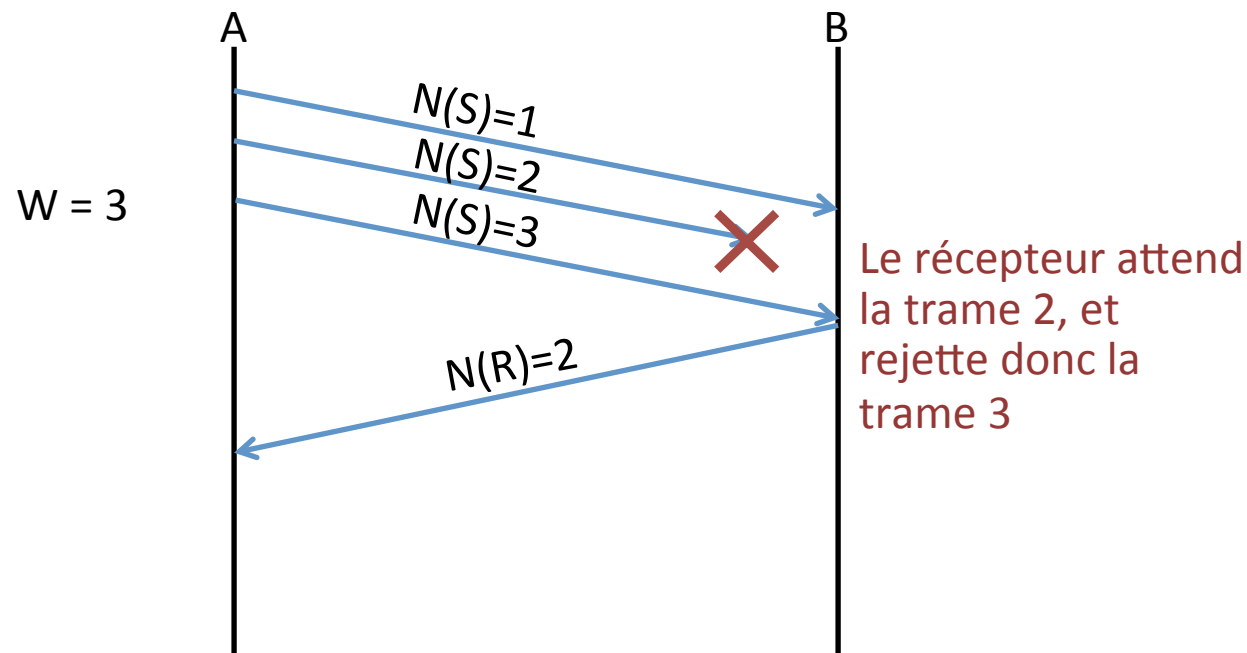
- **Go-back-N**
 - Fenêtre d'émission de taille W
 - Fenêtre de réception de taille 1
 - L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
 - Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**

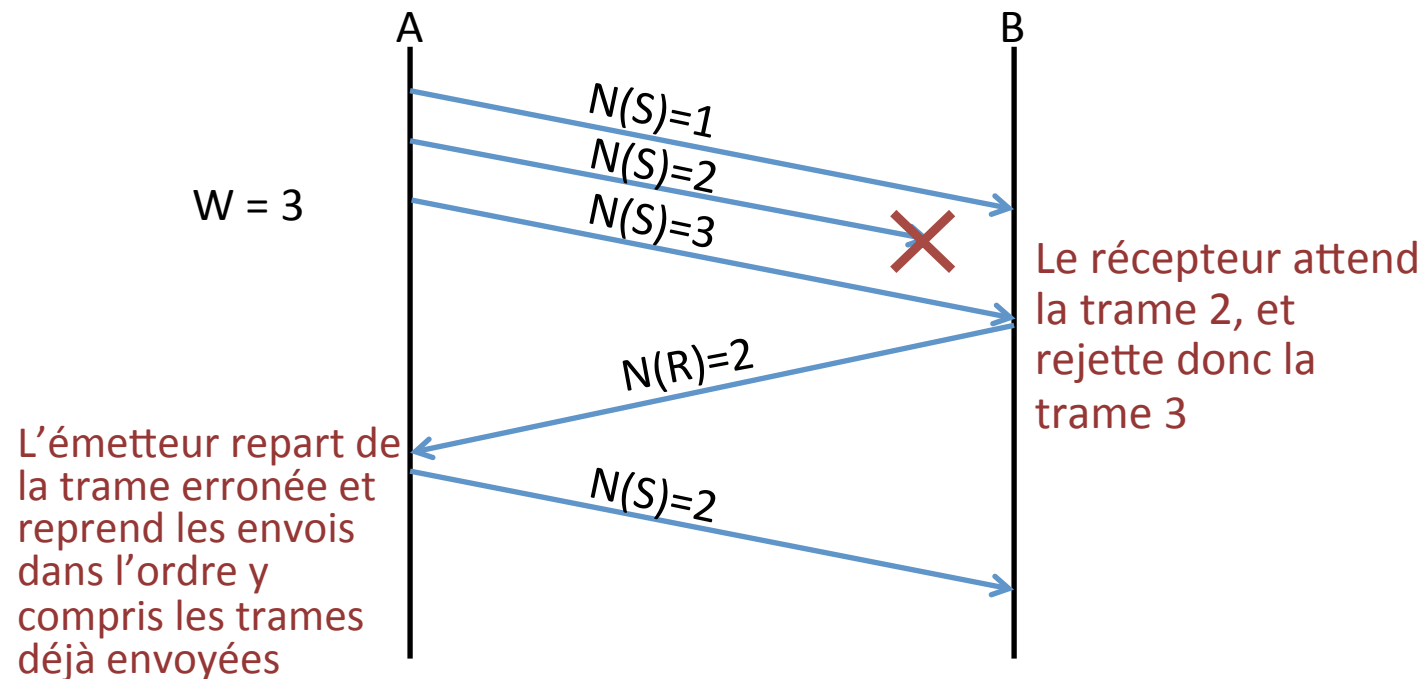
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**

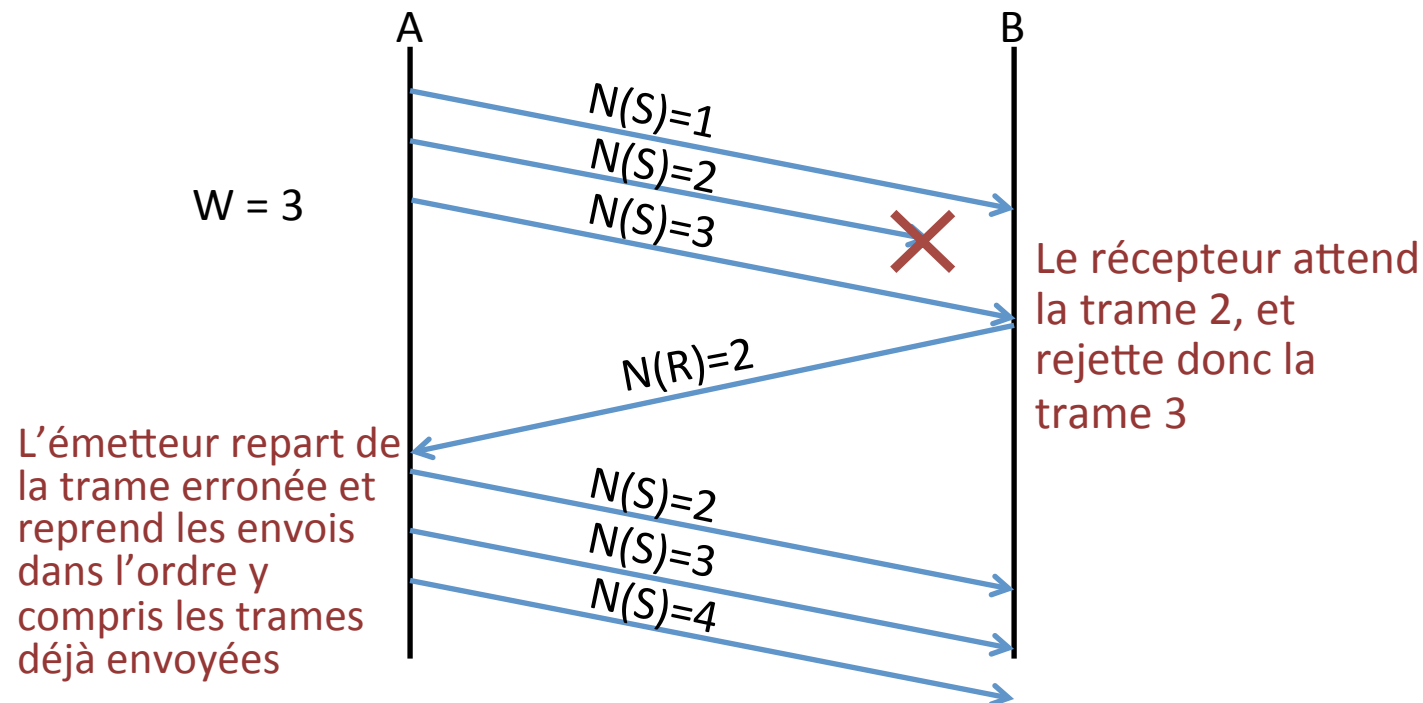
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**

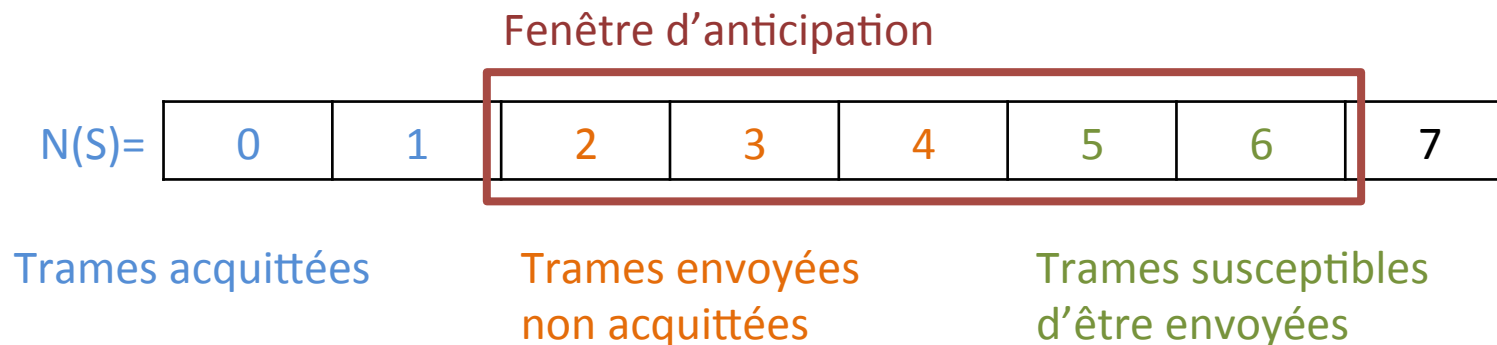
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille 1
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$



Contrôle d'erreur ARQ

- **Go-back-N**

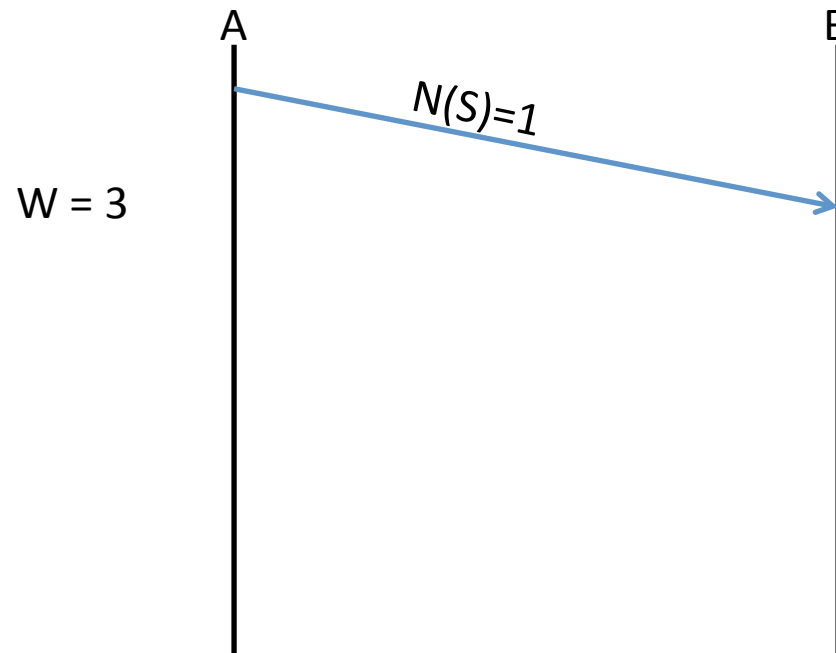
- La fenêtre d'émission comprend les trames envoyées non acquittées
- La fenêtre d'anticipation comprend les trames envoyées non acquittées ainsi que les trames susceptibles d'être envoyées
- Sa taille correspond au nombre maximal de trames que l'émetteur peut garder en mémoire au cas où il devrait les renvoyer



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

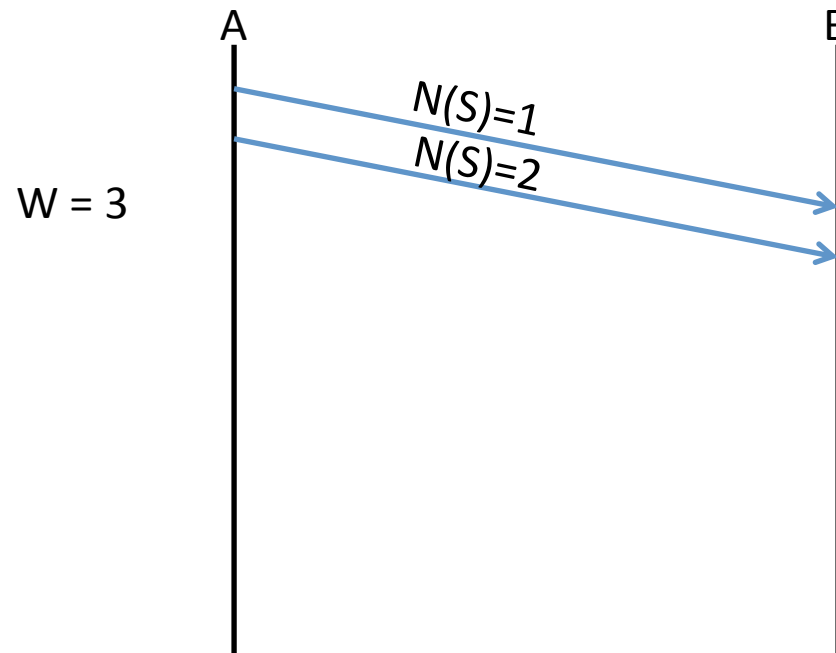
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

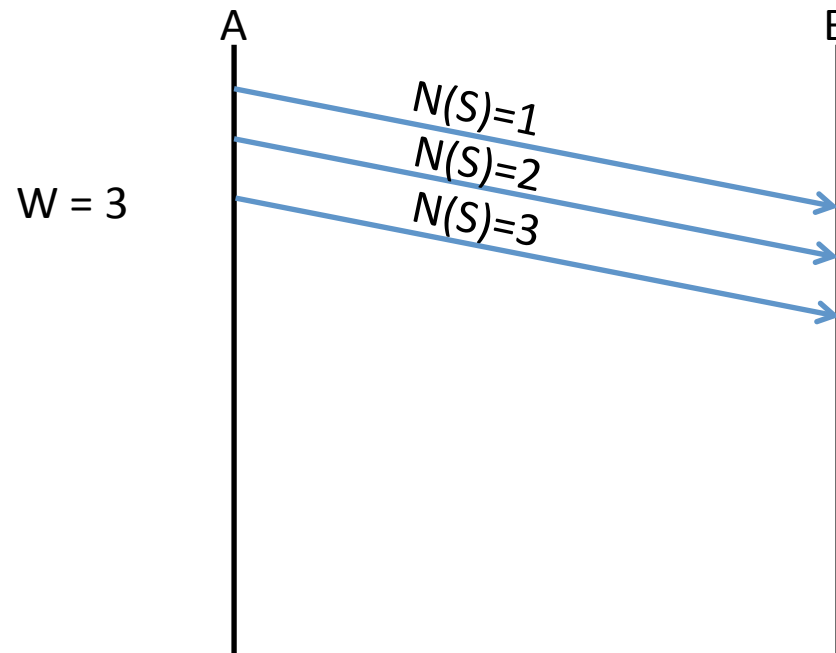
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

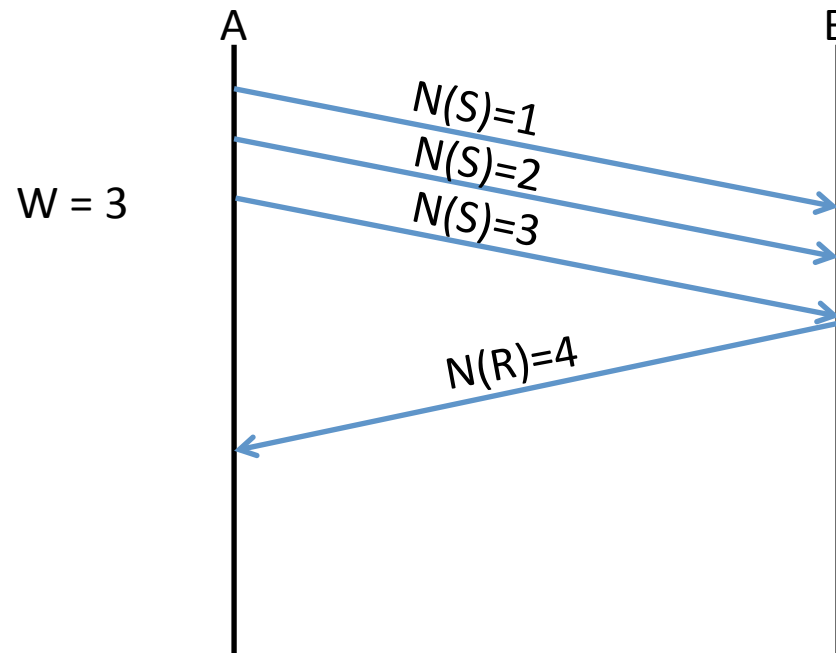
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

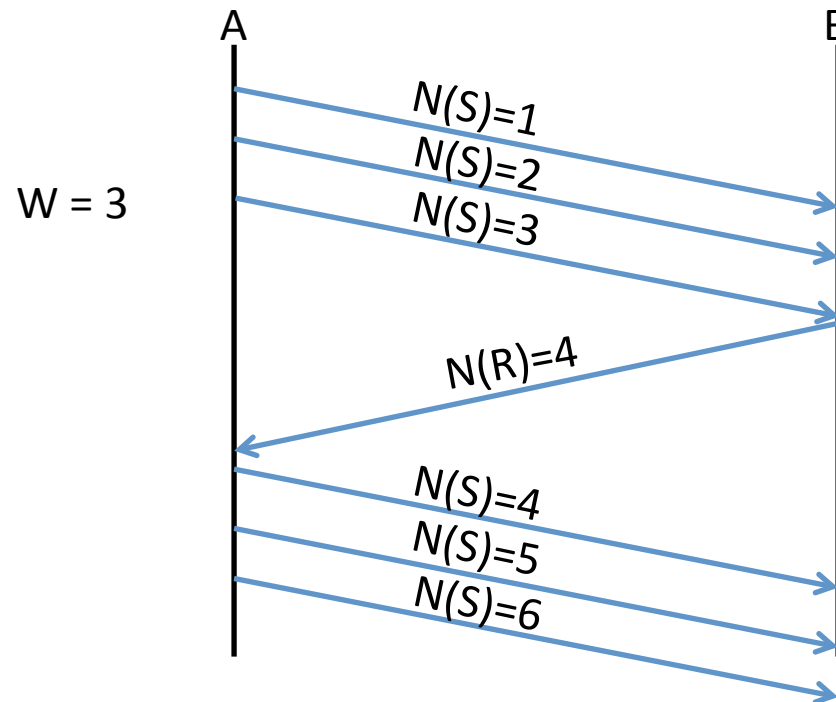
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

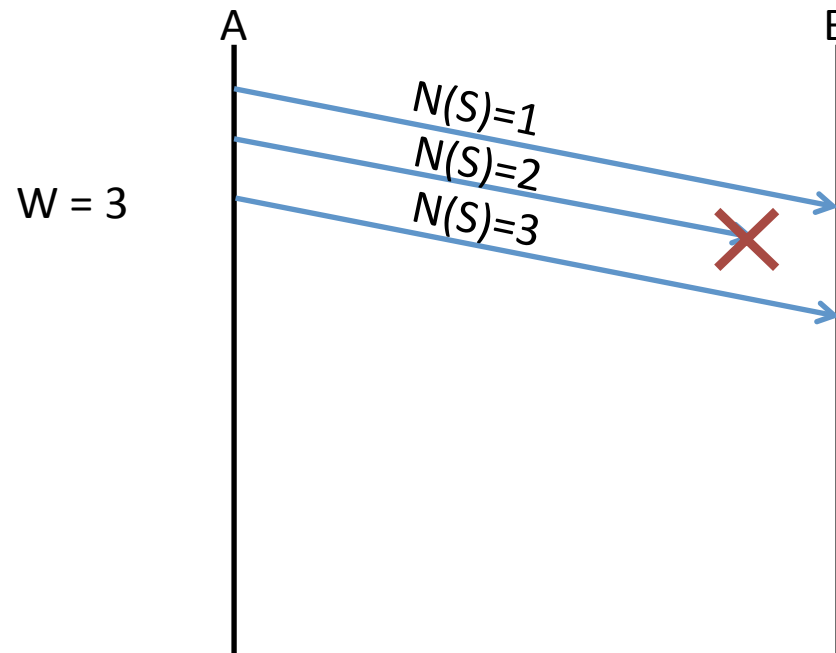
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

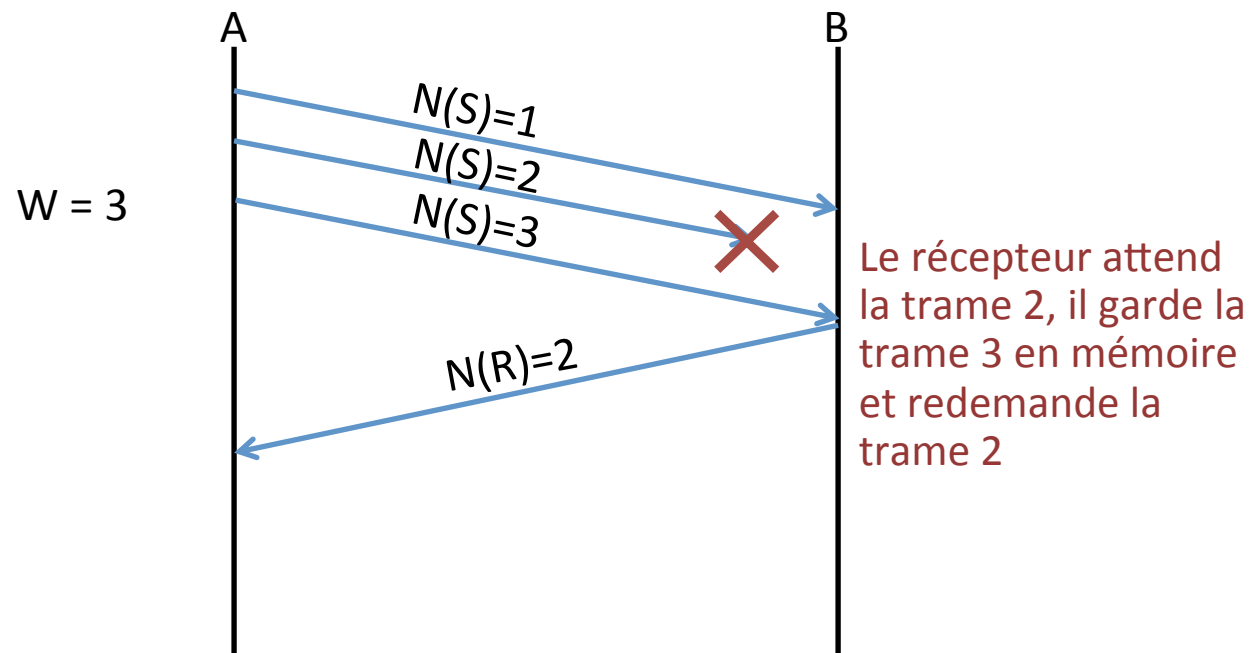
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

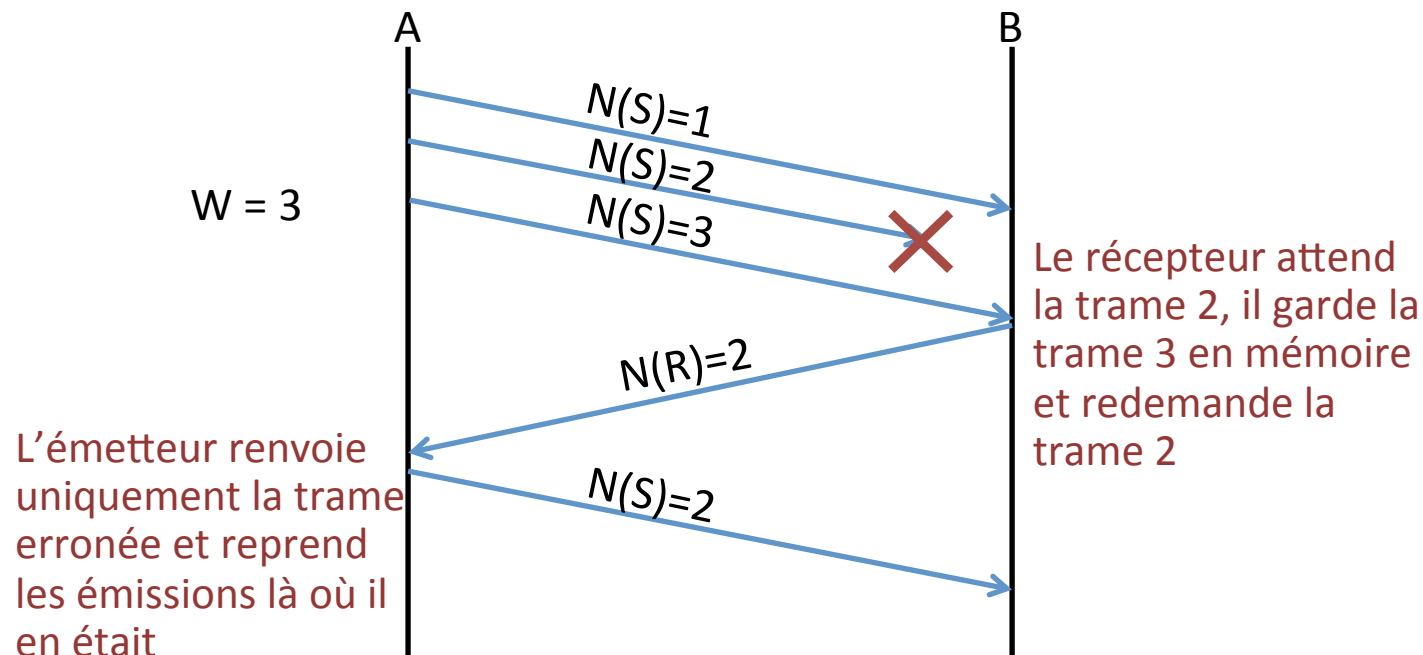
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant une renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

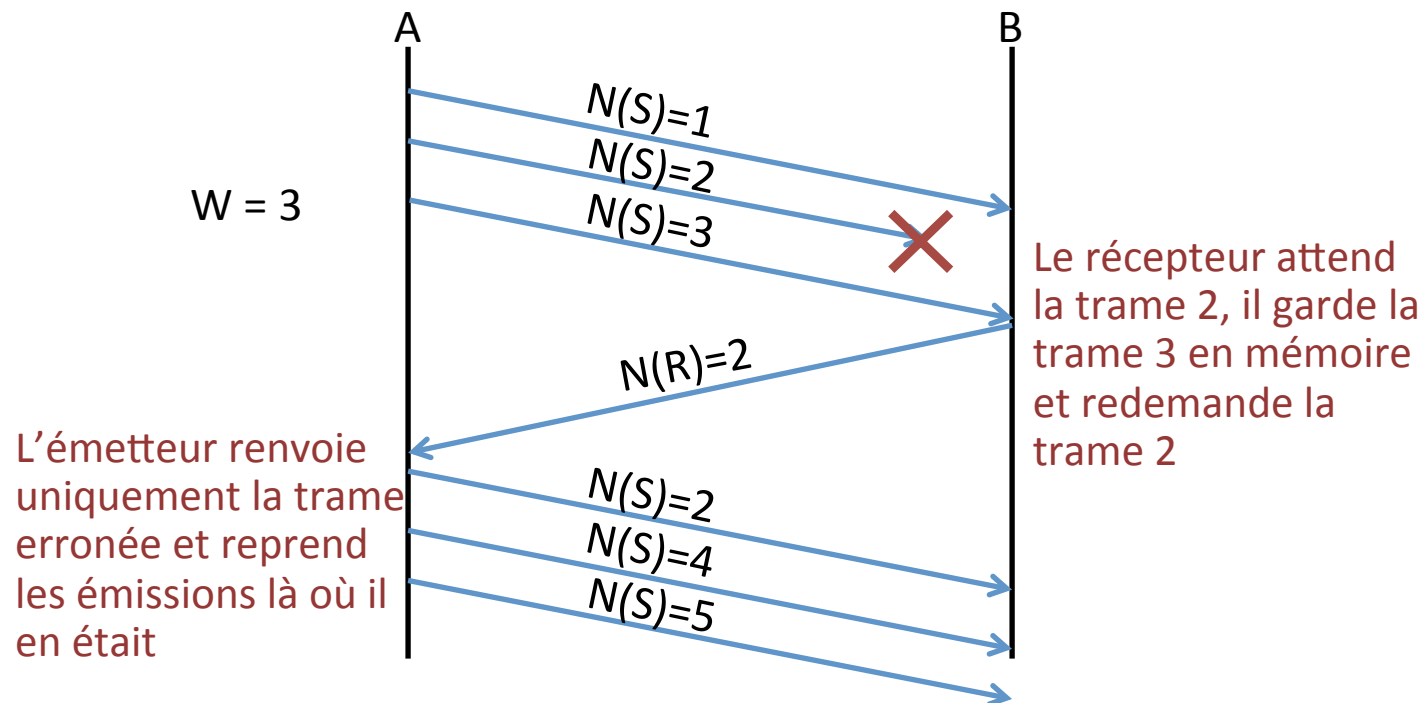
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant un renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Selective Repeat**

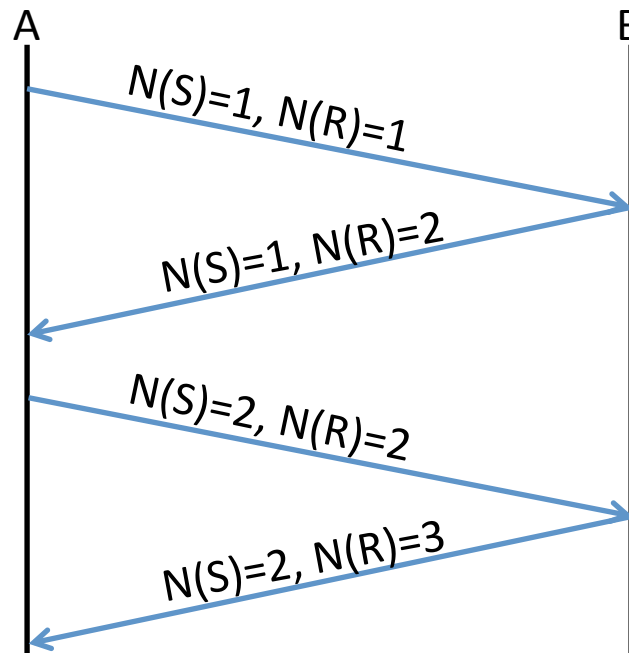
- Fenêtre d'émission de taille W
- Fenêtre de réception de taille W'
- L'émetteur peut envoyer jusqu'à W trames sans recevoir d'acquittement
- Un acquittement de numéro $N(R)$ acquitte toutes les trames inférieures à $N(R)$
- Le récepteur peut stocker jusqu'à W' trames en attendant une renvoi sélectif



Contrôle d'erreur ARQ

- **Piggybacking**

- Si la communication est bidirectionnelle et que le lien est en full duplex
- Il y a des trames d'informations et des trames d'acquittement dans les 2 sens
- Le piggybacking est le fait d'utiliser les trames d'information à la fois comme information mais aussi comme trame d'acquittement
- Une trame a alors un numéro $N(S)$ et un numéro $N(R)$



Contrôle de flux

- **Problème :**
 - L'émetteur envoie des messages découpés en trames à un récepteur
 - Le récepteur garde en mémoire et traite les trames reçues
 - Si le flux de l'émetteur est trop important, il risque de saturer le récepteur
 - Le mécanisme qui contrôle le rythme d'émission en fonction de la fenêtre de réception est le contrôle de flux
- **Principe :**
 - Le récepteur utilise des trames particulières pour avertir l'émetteur de l'état de sa fenêtre de réception (ouverte ou fermée)
 - RR : Receiver Ready
 - RNR : Receiver Not Ready
 - Dans certains protocoles, le récepteur peut indiquer l'évolution de la taille de sa fenêtre de réception (buffer disponible en réception)

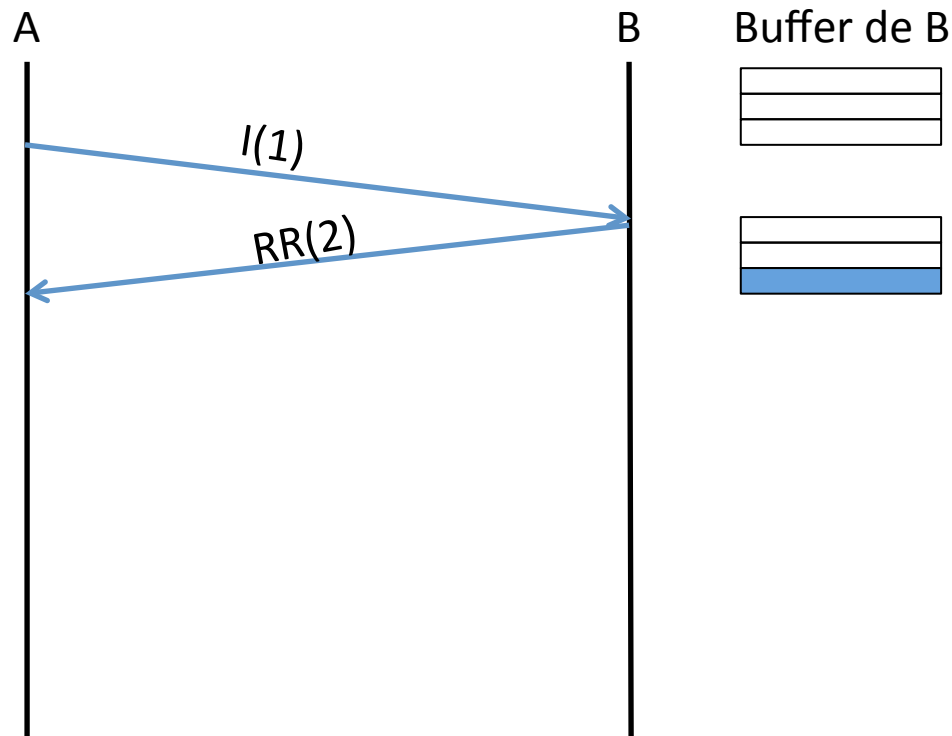
Contrôle de flux

- Pour simplifier la lecture on note $I(1)$ une trame d'information de numéro $N(S)=1$, et on note $RR(1)$ une trame d'acquittement qui acquitte le numéro $N(R)=1$



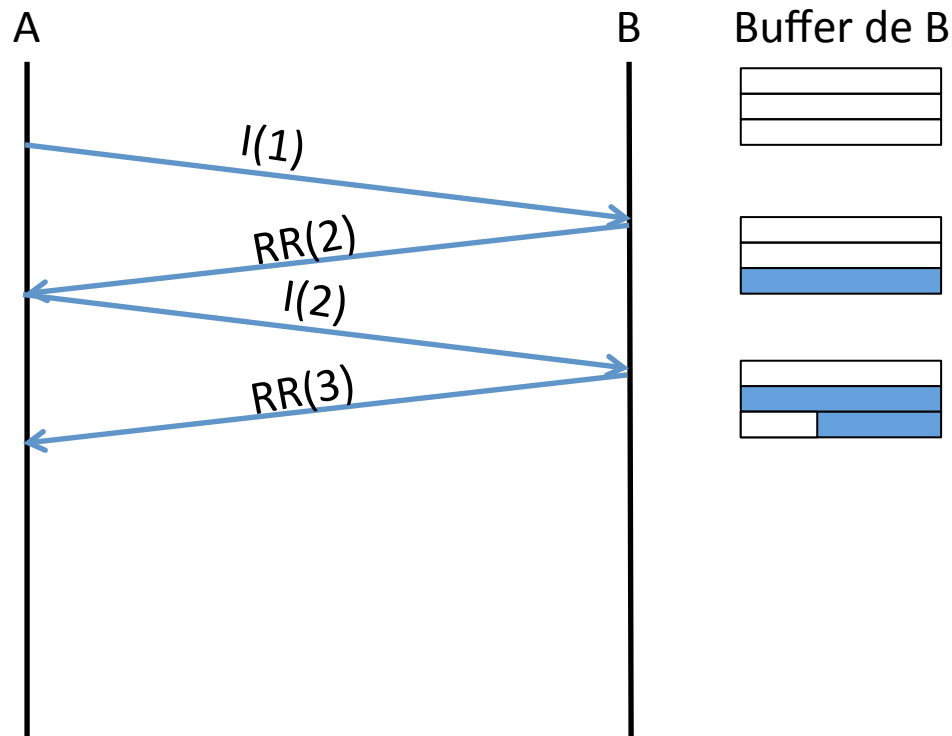
Contrôle de flux

- Pour simplifier la lecture on note $I(1)$ une trame d'information de numéro $N(S)=1$, et on note $RR(1)$ une trame d'acquittement qui acquitte le numéro $N(R)=1$



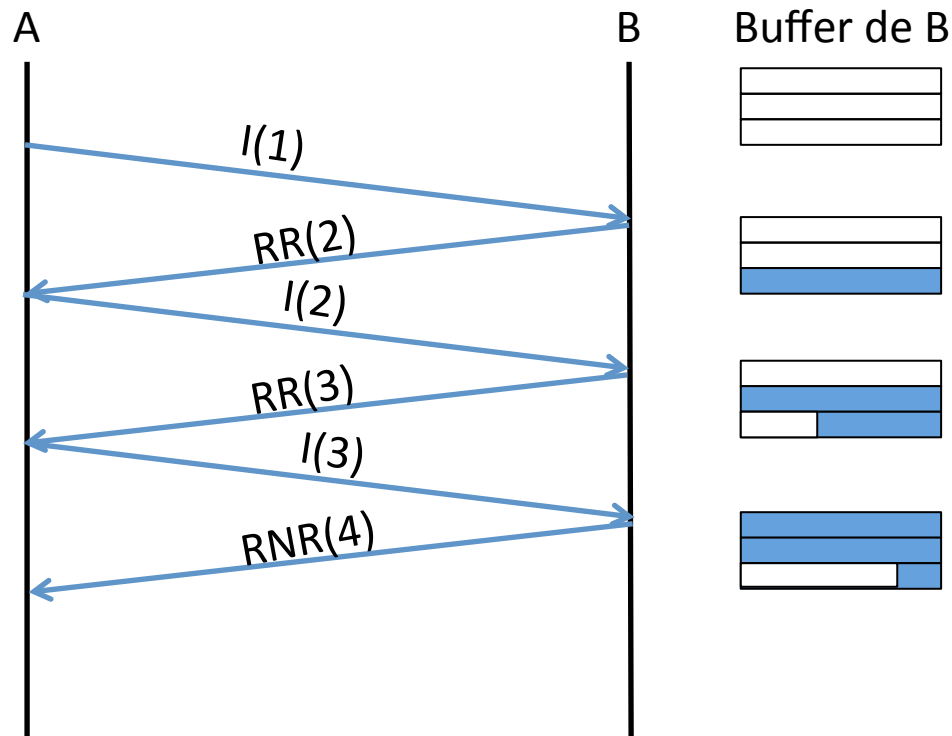
Contrôle de flux

- Pour simplifier la lecture on note $I(1)$ une trame d'information de numéro $N(S)=1$, et on note $RR(1)$ une trame d'acquittement qui acquitte le numéro $N(R)=1$



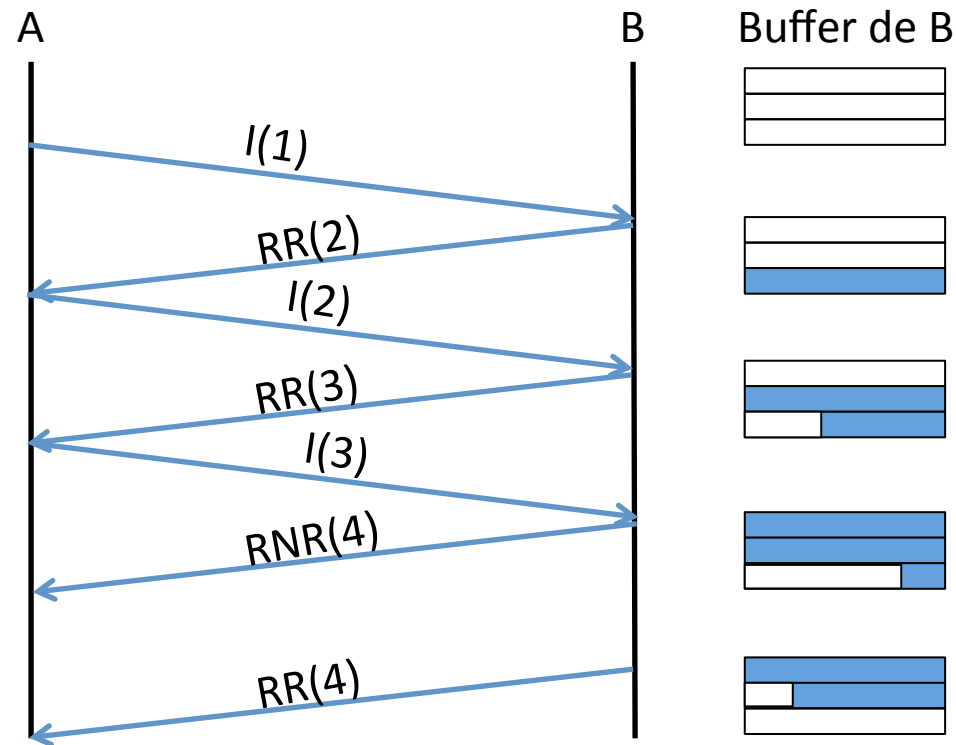
Contrôle de flux

- Pour simplifier la lecture on note $I(1)$ une trame d'information de numéro $N(S)=1$, et on note $RR(1)$ une trame d'acquittement qui acquitte le numéro $N(R)=1$



Contrôle de flux

- Pour simplifier la lecture on note $I(1)$ une trame d'information de numéro $N(S)=1$, et on note $RR(1)$ une trame d'acquittement qui acquitte le numéro $N(R)=1$



Contrôle de congestion

- **Problème :**

- Lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en point-à-point, il y a des nœuds intermédiaires à l'extrémité de chaque lien
- Les liens peuvent ne pas tous avoir le même débit
- Les nœuds intermédiaires ont un espace mémoire (buffer) fini qui permet de garder en mémoire des messages pour s'adapter aux différents liens
- Lorsqu'un nœud intermédiaire a sa mémoire pleine, il perd (drop) les messages qui arrivent
- Cependant ni l'émetteur ni le récepteur n'ont d'informations sur les différents buffers des nœuds intermédiaires
- Les mécanismes mis en œuvre pour éviter une saturation de la mémoire des nœuds intermédiaires correspondent au contrôle de congestion

- **Principe :**

- Grâce aux acquittements, l'émetteur connaît le nombre de messages correctement arrivés et le nombre de messages perdus
- En fonction de ce nombre, l'émetteur va augmenter ou diminuer sa fenêtre d'émission

Contrôle de congestion

- **Goulot d'étranglement**

- Lorsque la taille fenêtre d'émission oscille entre 2 valeurs
- La valeur maximale correspond à un débit trop fort qui crée une saturation et donc une perte de messages sur un nœud intermédiaire
- La valeur minimale correspond à un débit acceptable par ce même nœud
- Ce nœud intermédiaire constitue un goulot d'étranglement pour cette communication
- Son espace mémoire est saturé par celle-ci
- On a atteint le débit maximum pour cette communication

