

La couche transport dans Internet

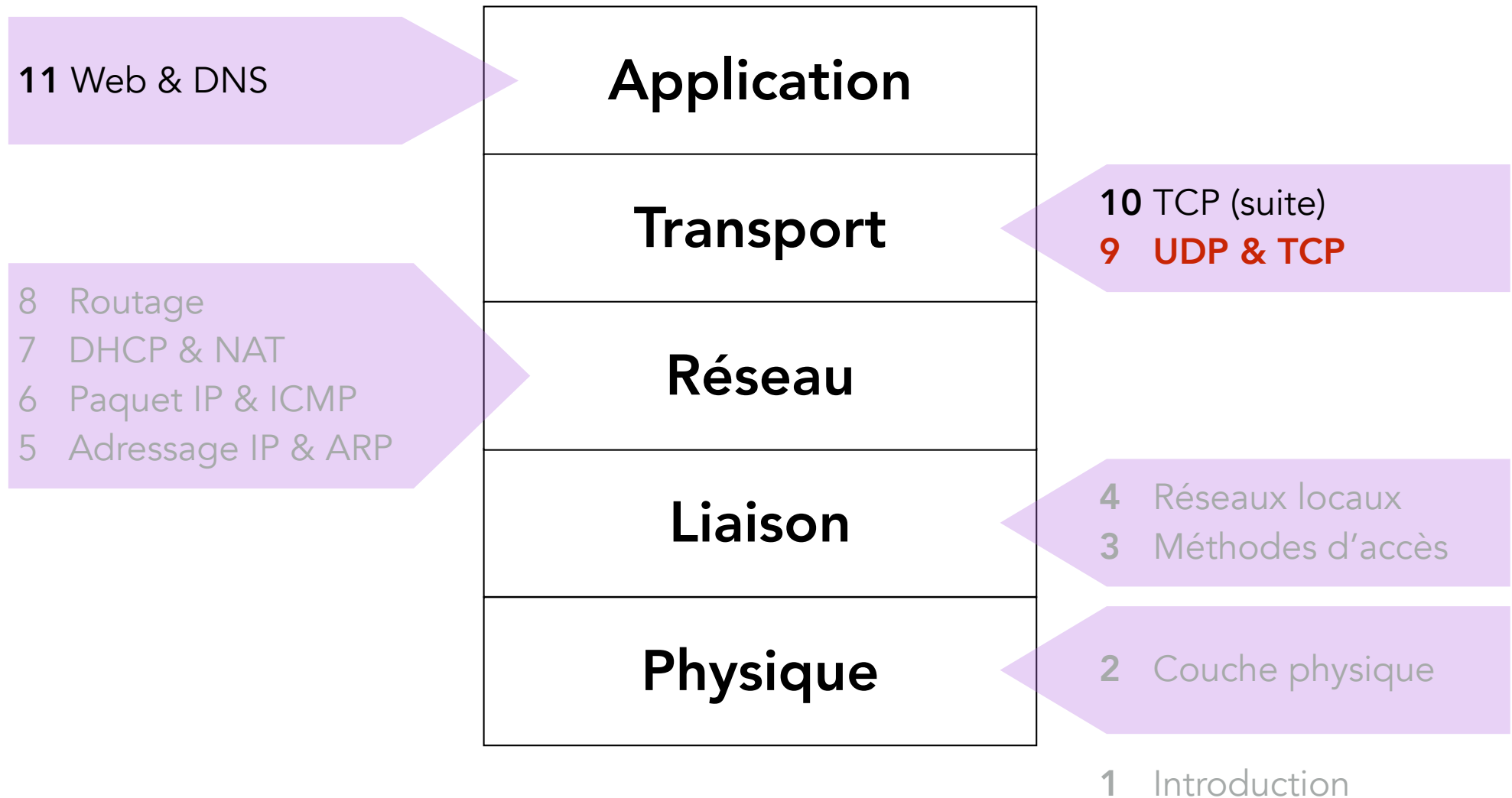
UE LU3IN033 Réseaux
2024-2025

Bruno Baynat

Bruno.Baynat@sorbonne-universite.fr



Programme de l'UE LU3IN033



Plan du cours

- Rôle de la couche transport
- Conception des applications réseau
 - Modèle client-serveur vs modèle P2P
- Classification des besoins des applications
 - Fiabilité, bande passante, délai
- Les deux protocoles de la couche transport dans Internet
 - User Datagram Protocol (UDP)
 - Transmission Control Protocol (TCP)
- Les principes sous-jacent aux services de la couche transport
 - (Dé-)multiplexage
 - Détection des erreurs et des pertes
 - Livraison fiable
 - Contrôle de flux
 - Contrôle de congestion

Deux protocoles de transport : UDP et TCP

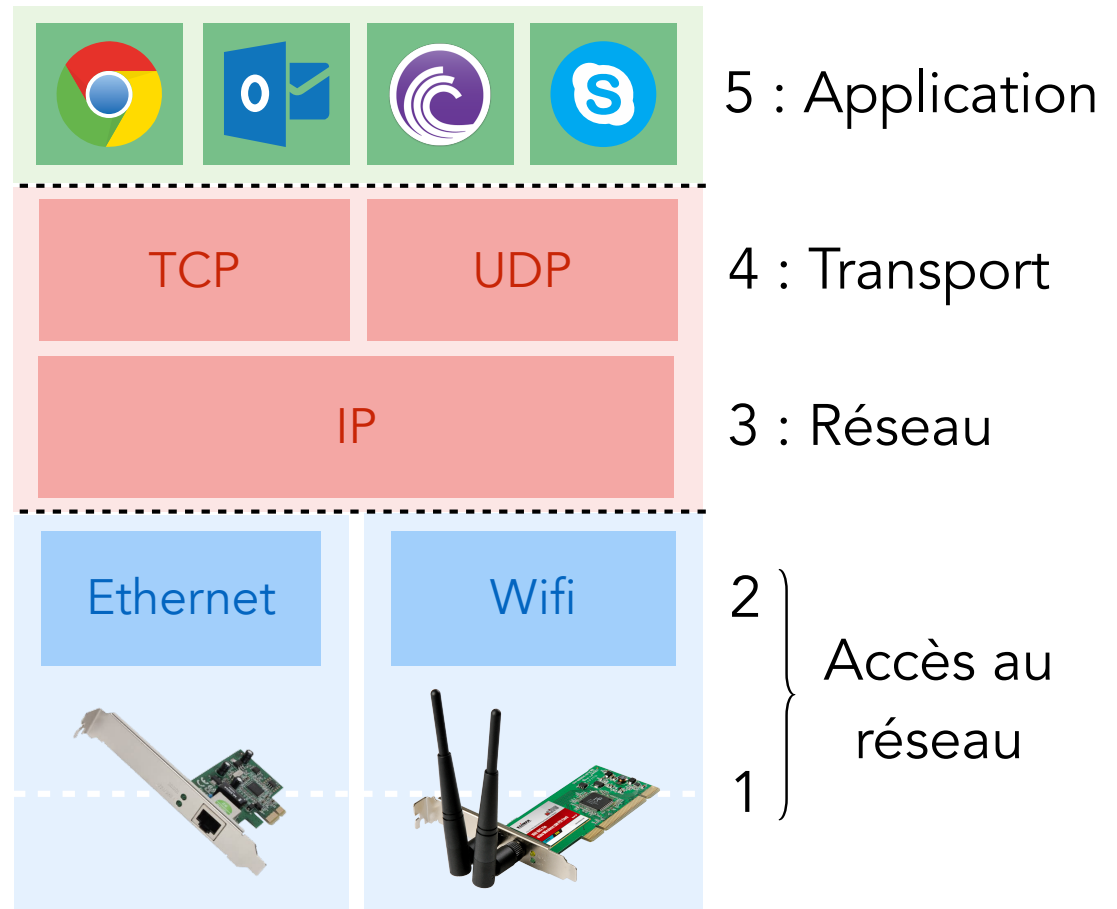


Pile protocolaire TCP/IP

- Les machines hôtes exécutent des applications
 - qui communiquent selon un **protocole de couche 5**
 - les données qu'elles génèrent sont passées aux couches inférieures
- Les routeurs acheminent les données pour le compte des applications
 - les données sont transportées dans des paquets IP selon un **protocole de couche 3**

Pourquoi n'est-ce pas suffisant ?

A quoi sert la couche 4 ?

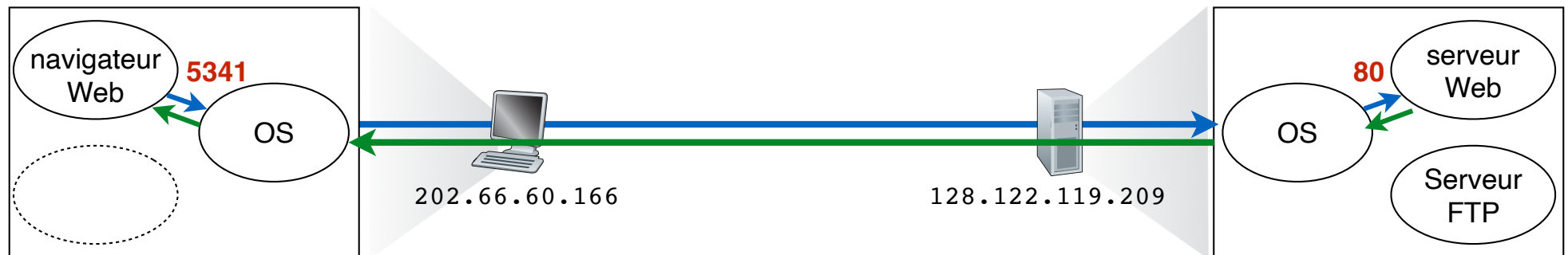


Première raison

- La couche Réseau (IP) a pour rôle de transmettre des paquets de données d'une machine source vers une machine destination
 - de proche en proche
 - en suivant le « meilleur » chemin
- Elle offre donc un **service de remise « de machine à machine »**



- La couche transport étend le service offert par la couche réseau en un **service de remise « d'application à application »**



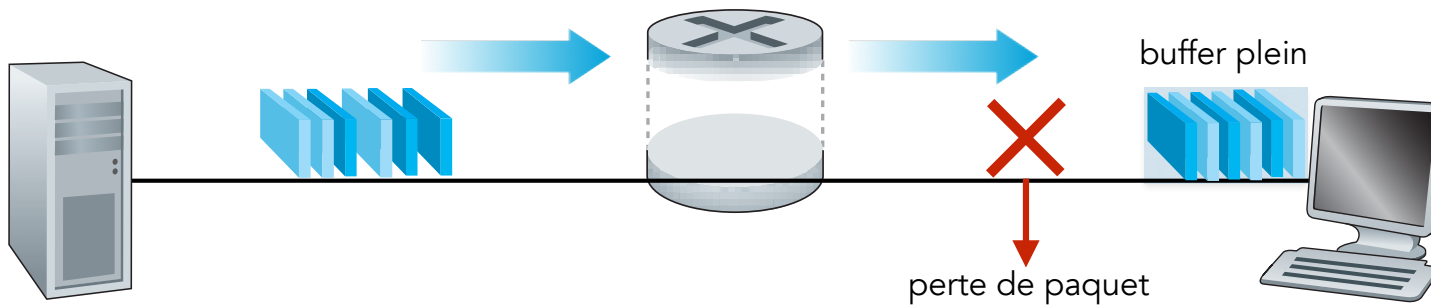
- C'est le rôle des **ports**

Deuxième raison

- La couche IP (réseau) n'est pas fiable
- Lors de son acheminement de la source vers la destination, un paquet IP peut être
 - perdu
 - buffers saturés
 - problème de routage
 - en erreur
 - trame encapsulant le paquet en erreur
 - déséquenté
 - changement de routes
 - dupliqué
 - erreur de la couche liaison
- Certaines applications ont besoin de fiabilité
- Pour ces applications, la couche transport propose un service fiable de transfert de données

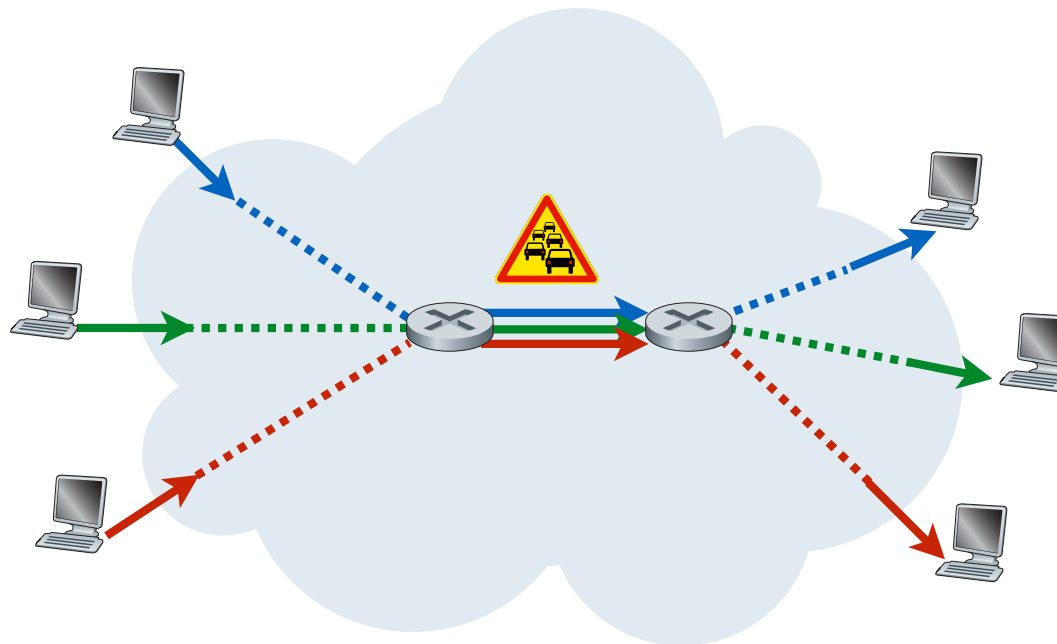
Troisième raison

- La couche IP (réseau) ne fait pas de contrôle de flux
- Elle ne permet pas à l'émetteur de s'adapter au rythme du récepteur
 - risque d'engorgement des buffers du récepteur
 - perte de données possible
- Pour les applications qui en ont besoin, la couche transport ajoute à la couche IP un **mécanisme de contrôle de flux**



Quatrième raison

- La couche IP (réseau) ne fait pas de contrôle de congestion
- Elle ne permet pas d'équilibrer les flux entre différents émetteurs
 - congestion possible d'une partie du réseau
 - lenteur du réseau (ou perte de données dans le cas extrême)
- Lorsque cela est possible, la couche transport ajoute à la couche IP un **mécanisme de contrôle de congestion**



Protocoles de transport

- Il y a deux protocoles de transport au dessus d'IP : UDP (User Datagram Protocol) et TCP (Transmission Control Protocol)
- Pourquoi deux ?
 - Toutes les applications n'ont pas les mêmes besoins
 - certaines ont besoin de fiabilité, d'autres ont besoin de rapidité
 - Ex : web vs chat vidéo
 - Le contrôle de flux est incompatible avec certaines applications
 - applications temps réel
 - Ex : voix sur IP, jeux en réseau
 - Le contrôle de congestion ne peut pas être imposé à certaines applications
 - applications qui génèrent des échanges sporadiques nécessitant une réponse rapide
 - Ex : DNS

Classification des applications

Application	Pertes	Bande passante	Délai
Transfert de fichiers	pas de tolérance	élastique	non sensible
Email	pas de tolérance	élastique	non sensible
Web	pas de tolérance	élastique	non sensible
Audio/video temps réel	tolérance	audio: 5kb/s-1Mb/s video: 10kb/s-5Mb/s	100aines msec
Streaming audio/video	tolérance	audio: 5kb/s-1Mb/s video: 10kb/s-5Mb/s	qques sec
Jeux interactifs	tolérance	qques kbps	100aines msec

TCP

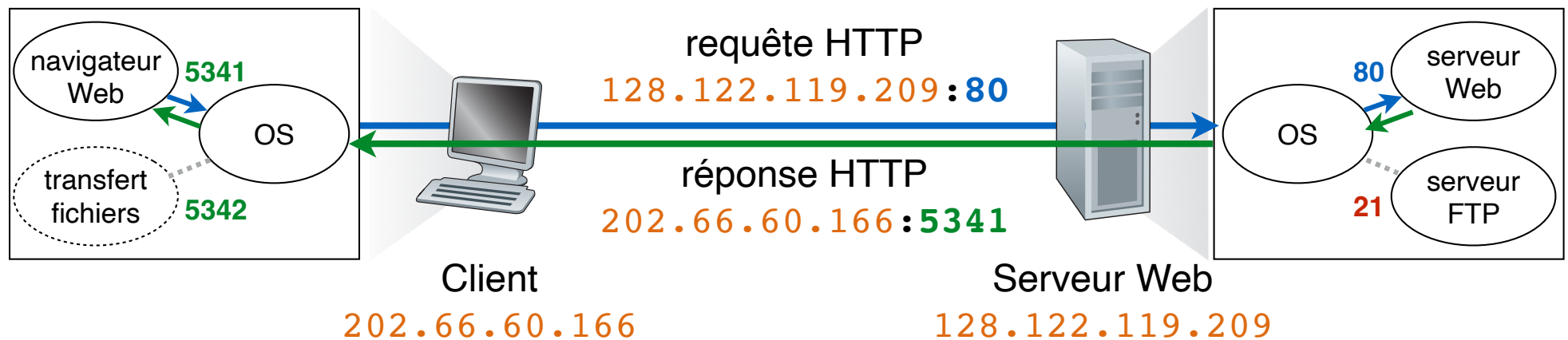
UDP

UDP vs TCP

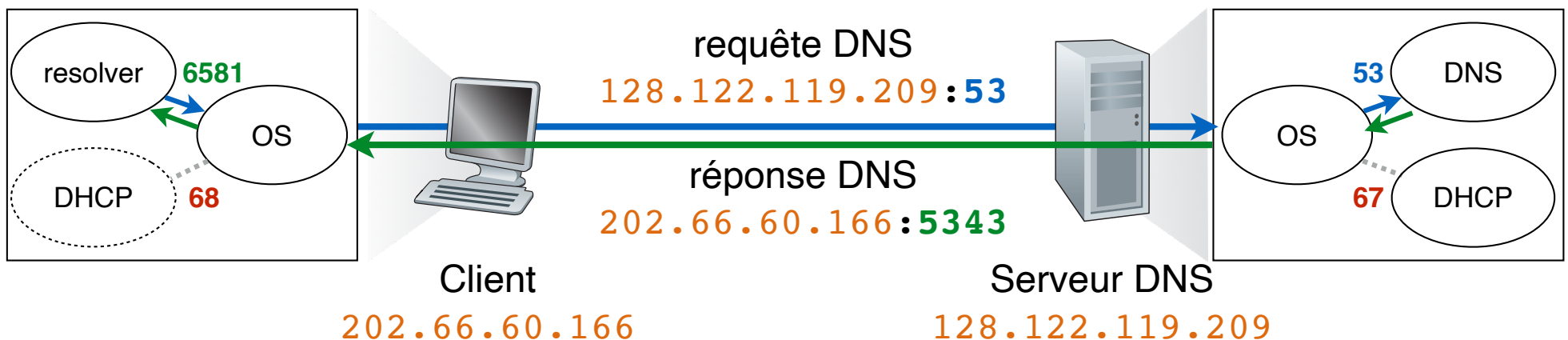
- Deux protocoles de transport : UDP et TCP
 - TCP offre un service de livraison fiable / UDP est sans garantie
 - TCP fonctionne en mode flux d'octet / UDP en mode datagramme
 - TCP est orienté connexion / UDP est sans connexion
- Services de base communs à UDP et TCP
 - Multiplexage / Démultiplexage applicatif
 - permet à plusieurs applications d'une même machine de communiquer simultanément
 - en regroupant dans un seul flux de paquets IP les différentes communications
 - Détection d'erreurs
 - somme de contrôle sur l'entête et les données transportées
- Services spécifiques à TCP
 - Fiabilisation de la transmission
 - retransmission des octets en erreur ou perdus
 - remise en séquence des octets reçus dans le désordre
 - suppression des octets dupliqués
 - Contrôle de flux
 - Contrôle de congestion

Service commun : (Dé-)Multiplexage

TCP



UDP



Modèle Client-Serveur vs Pair à Pair

Client-Serveur

- Conception asymétrique
 - l'application réseau résulte de l'exécution de **deux programmes différents**
- Le serveur
 - s'exécute en permanence
 - attend les requêtes des clients
 - écoute sur un numéro de port connu des clients
- Les clients
 - se connectent par intermittence
 - initient la communication en envoyant des requêtes au serveur
 - doivent connaître l'adresse IP et le numéro de port du serveur

Pair-à-Pair

- Conception symétrique
 - toutes les machines exécutent le **même programme**
 - les machines agissent tour à tour comme client et comme serveur
- Service de découverte des pairs
 - les applications Pair à Pair nécessitent un mécanisme de découverte
 - de l'adresse IP des pairs
 - du numéro de port qu'ils utilisent
 - un serveur (!), une base de données répartie sur les noeuds, ...

Modèle Client-Serveur

Client

- Les clients
 - ont une **adresse IP dynamique**
 - qui change en fonction du temps
 - et de leur localisation
 - utilisent un **numéro de port arbitraire** (≥ 1024)
 - codé sur 16 bits (2 octets)
 - dont le choix est laissé au système d'exploitation
- Les clients découvrent
 - le nom (URL) d'un serveur
 - moteurs de recherche
 - l'adresse IP d'un serveur
 - DNS (*Domain Name Server*)
 - pages blanches de l'Internet

Serveur

- Les serveurs
 - ont une **adresse IP statique**
 - ont un **nom connu des clients**
 - moteurs de recherche
 - écoutent sur un **numéro de port connu des clients** (< 1024)
 - *well-known ports*
 - 80 pour HTTP (web)
 - 53 pour DNS
 - 67 pour DHCP
- Les serveurs sont contactés par les clients
 - et découvrent ainsi
 - leur adresse IP
 - le numéro de port qu'ils ont choisi

Service commun : détection d'erreur

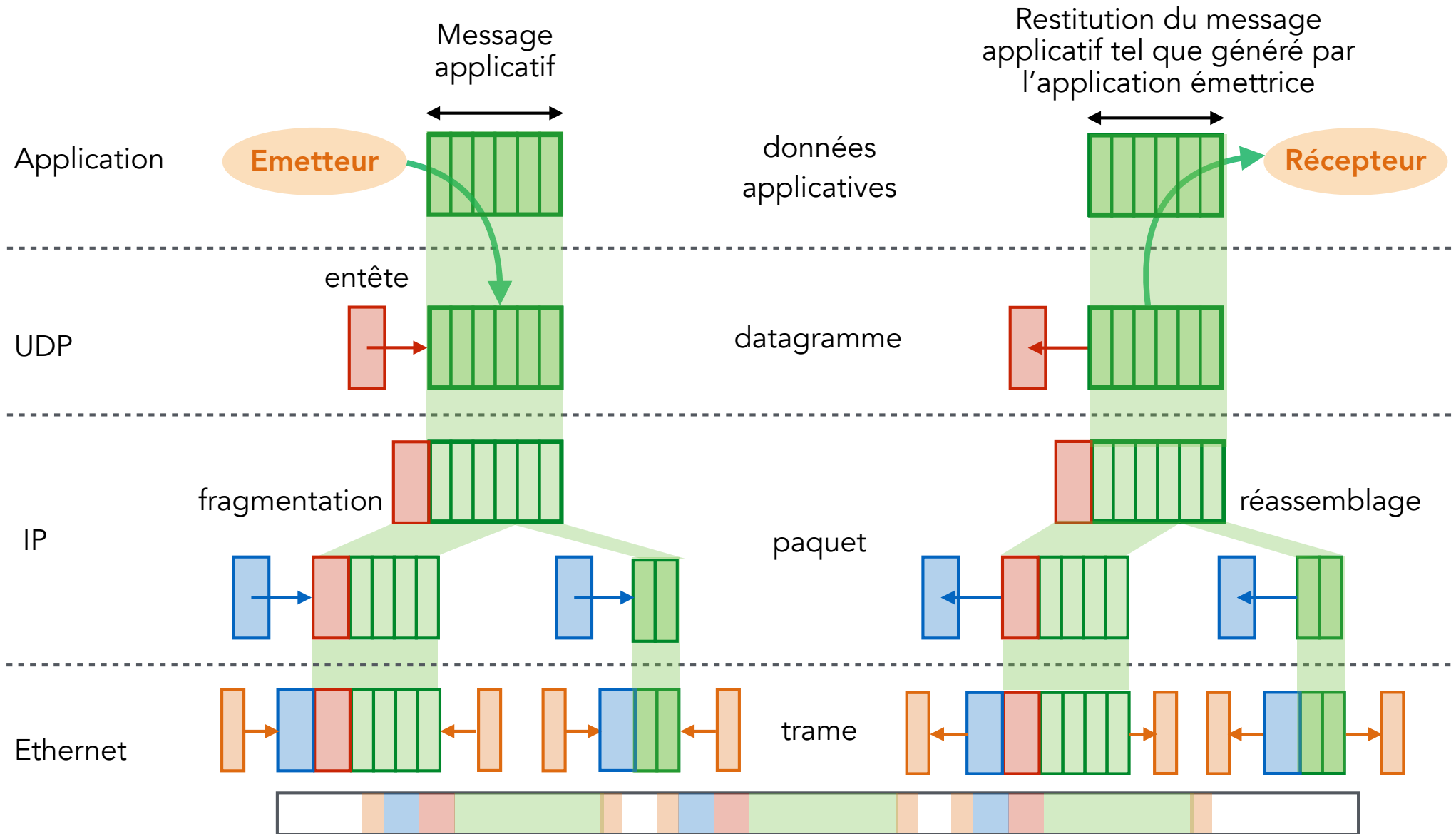
- UDP et TCP proposent tous les deux un mécanisme de détection d'erreur
 - obligatoire pour TCP
 - optionnel pour UDP
- Champ Checksum dans l'en-tête (du segment TCP ou du datagramme UDP)
 - somme de contrôle calculée par l'émetteur
 - vérifiée par le récepteur
 - portant
 - sur l'en-tête (du segment ou du datagramme)
 - sur les données transportées
 - sur un « pseudo-entête » reprenant des données d'IP (essentiellement @IP source et @IP destination)
- UDP ne propose aucun mécanisme pour réparer les erreurs détectées
 - sur détection d'erreur les données sont ignorées
- TCP répare les erreurs
 - retransmission des données en erreur

UDP vs TCP

Mode datagramme vs Mode flux d'octets

- UDP : mode datagramme
 - Les messages applicatifs sont encapsulés tels quels dans des datagrammes UDP
 - Les datagrammes sont envoyés immédiatement
 - IP fragmente éventuellement les datagrammes en fonction de la MTU locale
 - Côté récepteur, l'application reçoit les messages applicatifs tels que générés côté émetteur
- TCP : mode flux d'octets
 - TCP considère les données de l'application comme un flux ordonné et ininterrompu d'octets
 - Ces octets sont regroupés dans des segments TCP de taille maximum MSS (*Maximum Segment Size*)
 - TCP attend le moment opportun pour envoyer les segments
 - sans engorger le récepteur
 - sans congestionner le réseau
 - IP n'a pas de raison de fragmenter les paquets encapsulant des segments TCP
 - MSS est choisi en fonction de la MTU locale
 - Côté récepteur, TCP écrit les octets reçus dans un buffer le temps que l'application les lise

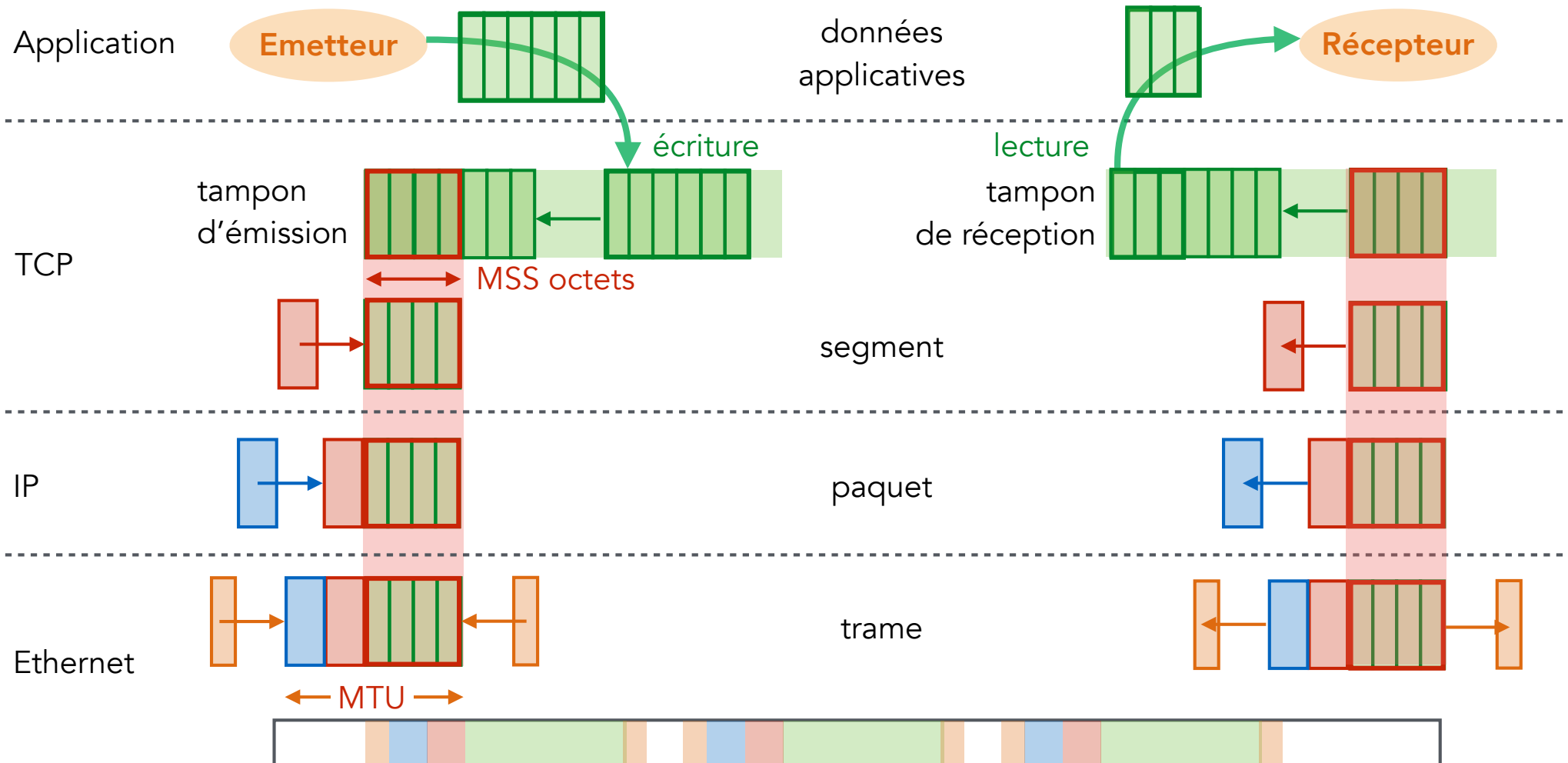
UDP : Mode Datagramme



TCP : Mode Flux d'octets

L'écriture des octets et l'envoi de segments ne sont pas corrélés

La lecture des octets reçus se fait indépendamment des écritures côté émetteur

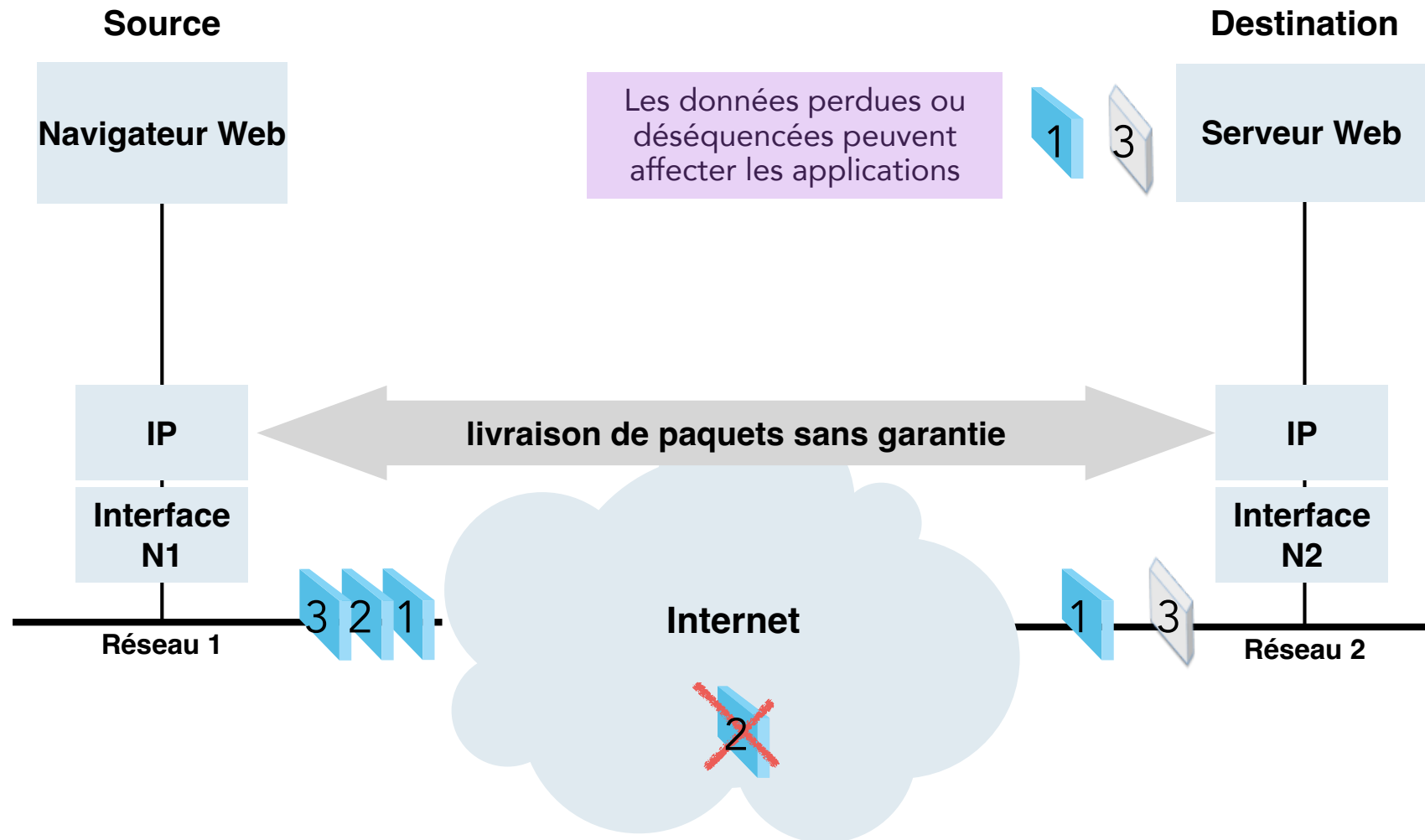


UDP vs TCP

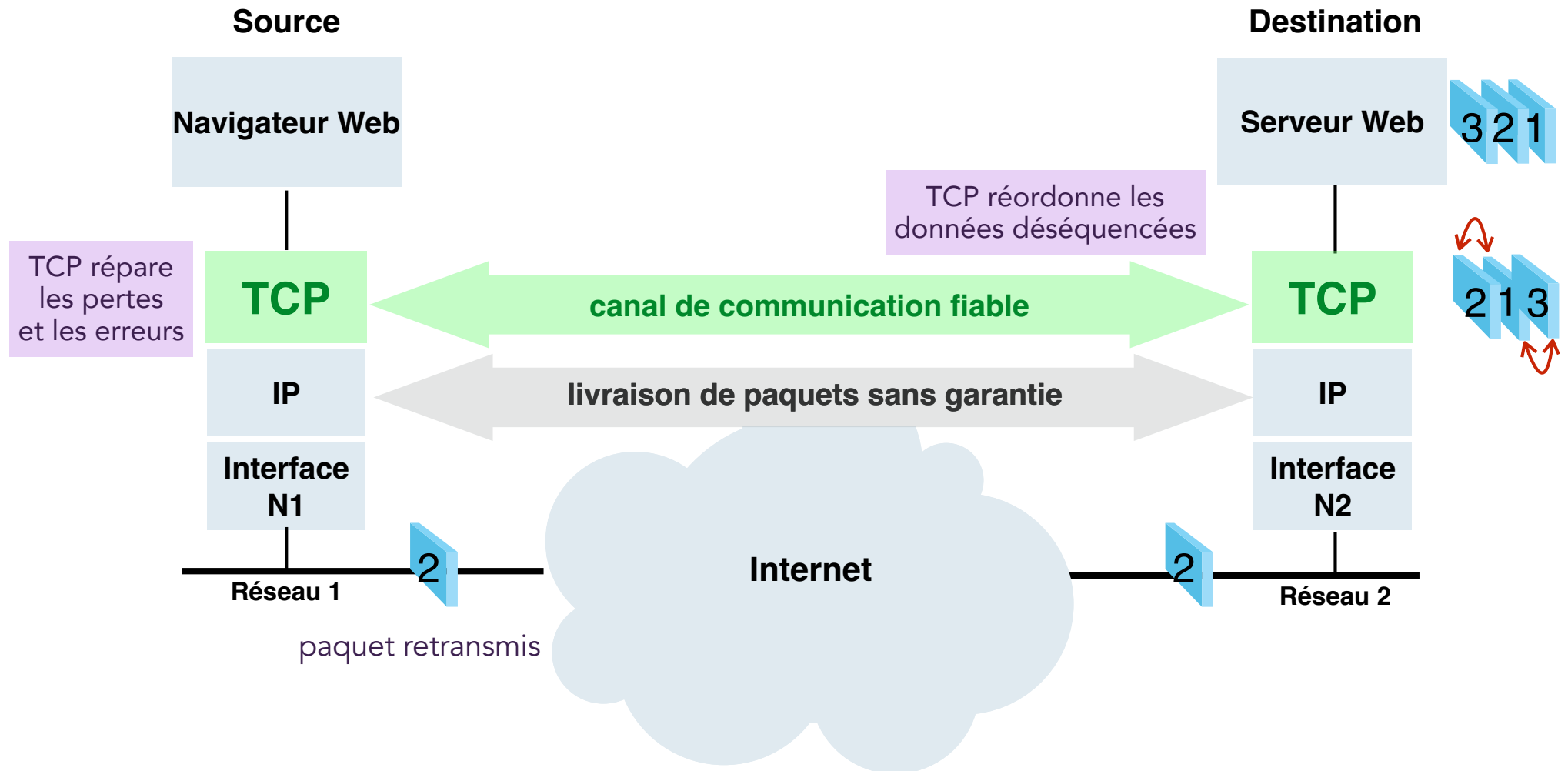
Mode non connecté vs Mode connecté

- UDP : mode non connecté
 - Envoi des données sans attendre l'établissement d'une connexion
 - adapté pour des échanges simples de type « une requête - une réponse »
 - Sans installer d'états
 - pas de buffers, pas de mémoire, pas de temporisateurs
- TCP : mode connecté
 - 3 phases
 1. Etablissement de la connexion
 2. Transfert de données
 3. Libération de la connexion
 - Installation et maintien d'états
 - buffers d'émission et de réception, numéros de séquence, fenêtres, temporisateurs, ...

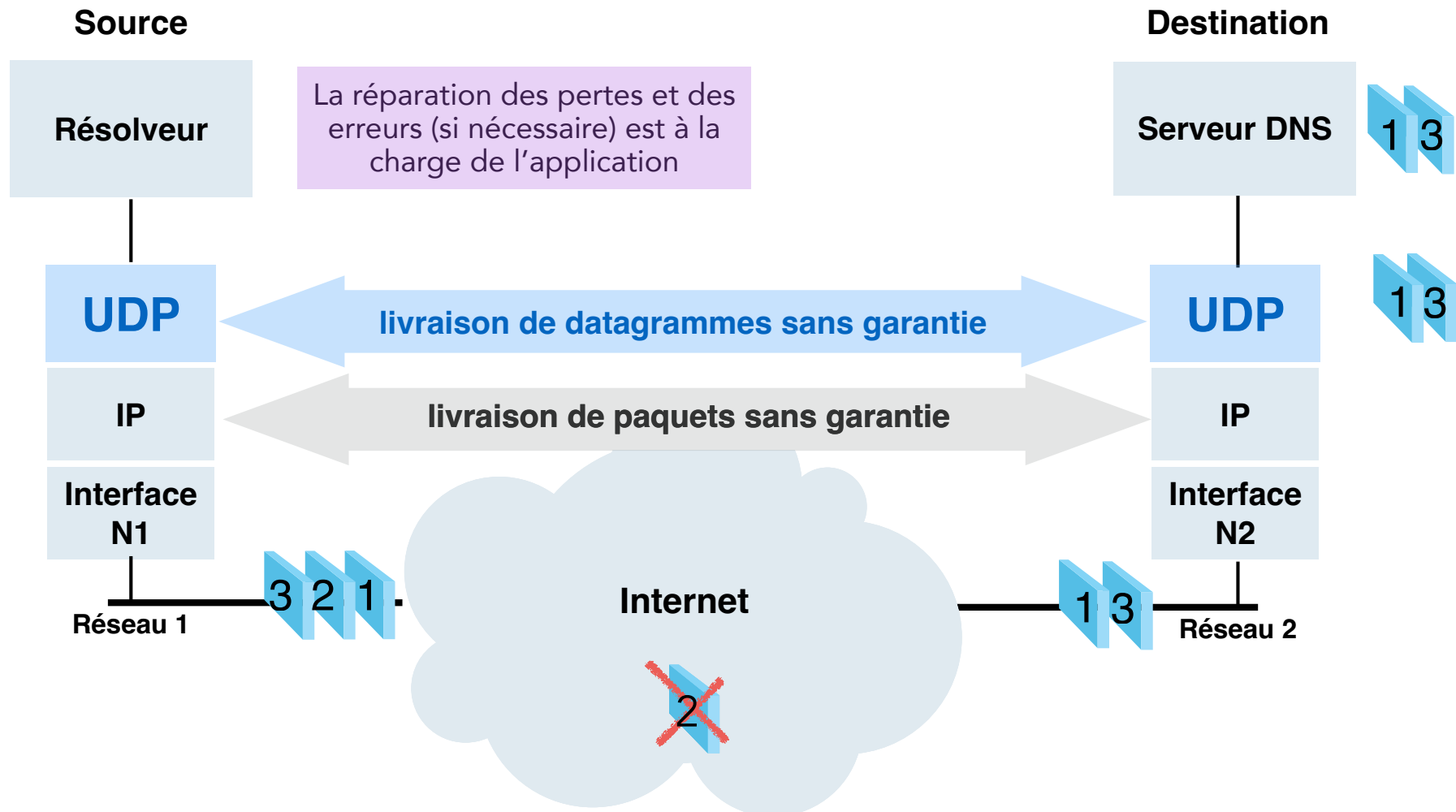
IP : Acheminement de proche en proche sans garantie



TCP : livraison fiable de bout en bout entre processus distants



UDP : livraison de bout en bout sans garantie entre processus distants



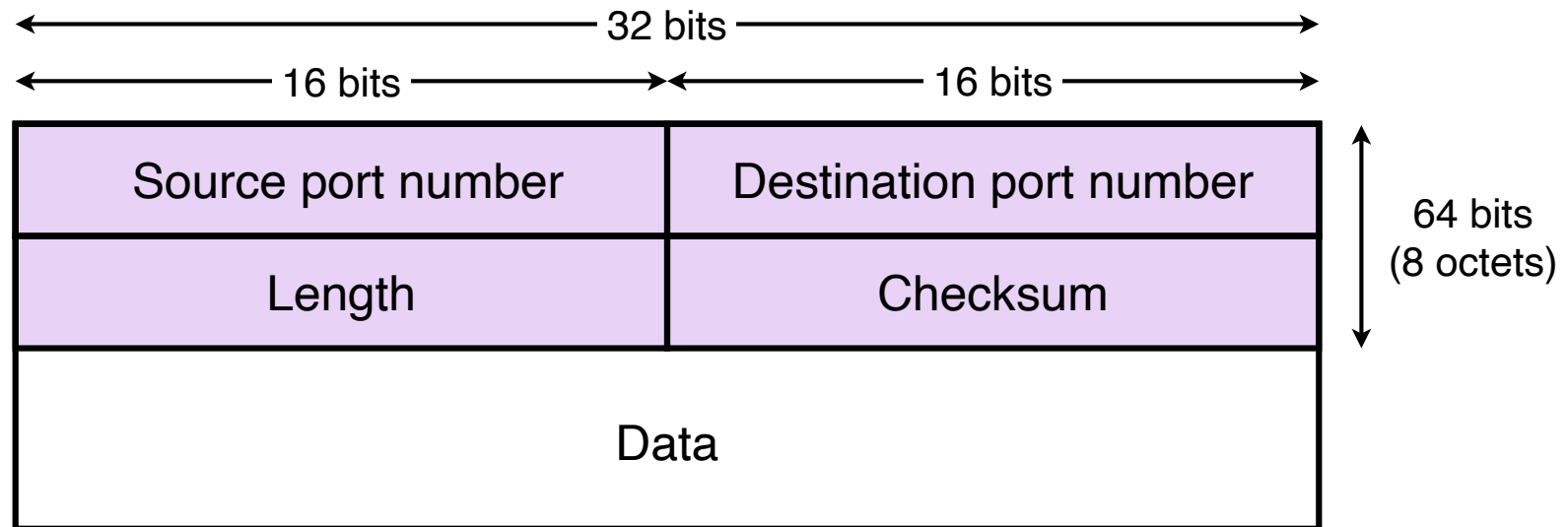
UDP

User Datagram Protocol



UDP : *User Datagram Protocol*

- Service de livraison de datagrammes simples
 - numéros de port : identification des applications en communication
 - longueur : pour accélérer la remise des messages à l'application destinataire
 - somme de contrôle : détection des datagrammes en erreur



Pseudo entête et somme de contrôle

paquet IP

4	IHL	TOS	Total Length		
Identifier			R	D	Fragment offset
			F	M	
TTL		Protocol	Header checksum		
Source IP address					
Destination IP address					



pseudo entête

Source IP address		
Destination IP address		
0	Protocol	UDP length

datagramme UDP

Source port number	Destination port number
Length	Checksum
Data	

- *Checksum* : somme de contrôle portant
 - sur l'en-tête du datagramme
 - sur les données transportées
 - sur un « pseudo-entête »

Le pseudo-entête UDP (et TCP) permet la double-vérification des informations IP

10.0.0.1		
10.0.0.2		
0	17	12
5341		80
12	0xE6AE	
0xF001		0x0002

		← 16 bits →
10.0	→	00001010 00000000
0.1	→	00000000 00000001
10.0	→	00001010 00000000
0.2	→	00000000 00000010
17	→	00000000 00001011
12	→	00000000 00001011
5341	→	00010100 11011101
80	→	00000000 01010000
12	→	00000000 00001011
0xF001	→	11110000 00000001
0x0002	→	00000000 00000010
Somme	→	1 00011001 01010000
Intégration de la retenue	→	00011001 01010001
Complément à 1	→	11100110 10101110



UDP : avantages et inconvénients

- UDP offre un service simple de livraison de datagrammes
 - entre applications : (dé-)multiplexage des datagrammes grâce aux numéros de port
 - avec détection (optionnelle) des datagrammes en erreur : somme de contrôle
- Inconvénients
 - UDP ne résout pas les problèmes de fiabilité d'IP
 - les pertes et les erreurs ne sont pas rattrapées
 - les datagrammes (si reçus) peuvent l'être dans le désordre
 - UDP ne se soucie pas de l'engorgement éventuel du récepteur
 - pas de contrôle de flux
 - UDP ne se soucie pas de la congestion éventuelle du réseau
 - pas de contrôle de congestion
- Avantages
 - UDP envoie immédiatement les données de l'application (après ajout de l'en-tête)
 - UDP évite la complexité et les délais nécessaires à la fiabilisation des échanges
 - mode non connecté : pas de phase d'établissement de la connexion
 - pas d'états, pas de mémoire nécessaire
- UDP est destiné aux applications qui privilégie la rapidité de remise des données à la fiabilité
 - « Mieux vaut jamais que tard »

Applications populaires qui utilisent UDP

- Applications multimédia
 - La fiabilité n'est pas compatible avec les applications interactives
 - les retransmissions retardent la réception des données
 - Ces applications sont peu sensibles aux erreurs et aux pertes
 - Ex : appels téléphoniques, visioconférences, jeux en ligne, IPTV, ...
- Applications simples de type « une requête-une réponse »
 - Les états nécessaires par connexion ne sont soit pas possibles soit trop coûteux à mettre en place
 - si l'adresse des clients n'est pas encore connue
 - si les clients se connectent en grand nombre au même serveur
 - Ex : DHCP, DNS, ...
- Applications nécessitant une réponse très rapide
 - Ex : serveurs de localisation, serveur de temps (NTP)

A faire

- Cours 9
 - à relire attentivement
- Devoir 9 sur Moodle
 - date de rendu : dimanche 17 novembre