



UNIVERSITÉ  
LIBRE  
DE BRUXELLES

# Introduction à l'informatique

## Réseaux I

Leçon basée sur celle du Prof. NICOLAS VAN ZEEBROECK

- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

- **Introduction**
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

## Introduction (1/4) – Principe

---

- Le réseau internet repose sur une infrastructure technologique qui sert de médiateur à des transactions (économiques, sociales, etc.) en ligne.
- Plusieurs aspects :
  - La **couche physique** (ensemble des infrastructures physiques) qui véhiculent les signaux représentant les données.
  - Les **protocoles de communication** qui assurent l'envoi de données entre un émetteur et un destinataire :
    - Rôle de **routage** : Identifier le chemin permettant l'échange de données.
    - Rôle de **transport** : Assurer un échange de données de qualité (erreurs, etc.).
  - Les **protocoles applicatifs** qui fournissent un service basé sur des données transmises.

- **Personal Area Network (PAN)** : Réseau domestique.
- **Local Area Network (LAN)** :
  - Réseaux locaux (réseaux d'organisations) limités (par exemple une pièce).
  - Protocole le plus courant : Ethernet.
- **Metropolitan Area Network (MAN)** :
  - Réseaux métropolitains.
  - Protocole le plus courant : TCP/IP.
- **Wide Area Network (WAN)** :
  - Réseaux globaux.
  - Parfois basés sur l'interconnexion de réseaux locaux.
  - Protocole : TCP/IP.

## Introduction (3/4) – Wide Area Network (1/2)

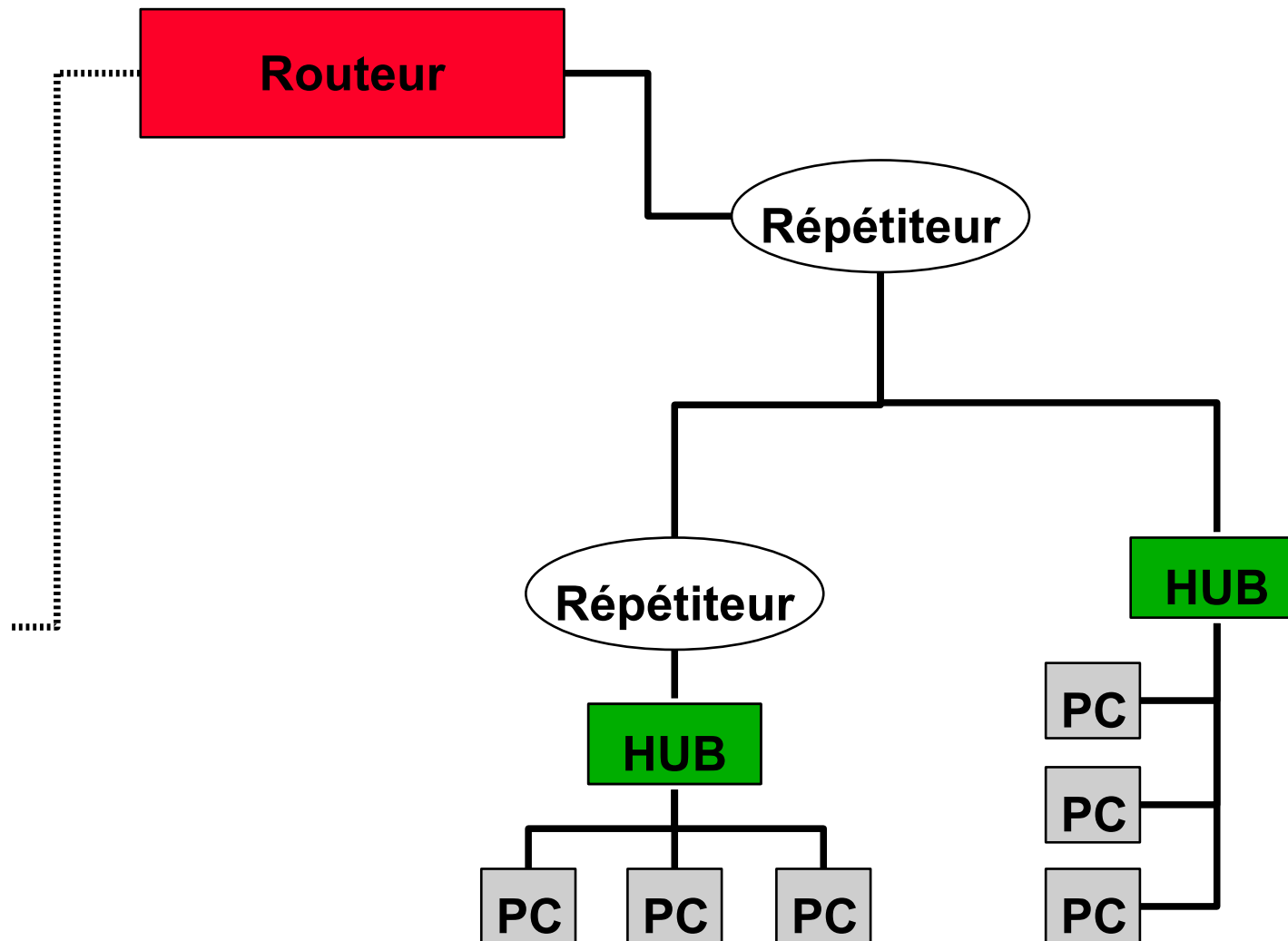
---

### Principe

- Les Wide Area Network (WAN) ont une étendue très large.
- Un WAN comprend des sous-réseaux et des matériels actifs :
  - Un matériel actif assure l'échange de données entre deux sous-réseaux.
  - Certains matériels actifs se limitent à répéter le signal et à isoler les sous-réseaux.
  - Certains matériels actifs sont intelligents (routeurs) : Ils choisissent une partie du “chemin suivi” par les données.
- **Internet** est le plus célèbre des WAN.
- Certaines organisations disposent de leur propre WAN (ex: content distribution network (CDN)).

## Introduction (4/4) – Wide Area Network (2/2)

### Matériels actifs



- Introduction
- **Réseaux de communication**
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions



## Réseaux de communication (1/2) – Définition

---

- Un réseau de communication est composé d'un ensemble de **nœuds** connectés entre-eux et pouvant communiquer.
- Éléments requis :
  - Au moins deux nœuds voulant communiquer (au moins un émetteur et au moins un récepteur).
  - Données à échanger.
  - Un support physique pour le transfert d'informations (électricité, ondes radio, lumière, etc.).
  - Méthode permettant à des nœuds de se contacter et un ensemble de règles (un **protocole**) organisant la communication, c'est-à-dire l'échange de données.
- **Shannon** propose un formalisme mathématique pour décrire l'échange de données numériques (1948).

## Réseaux de communication (2/2) – Historique

---

- 1833 : Morse invente le télégraphe.
- Entre 1874 et 1876 : Alexander Graham Bell dépose un brevet pour le téléphone.
- 1880 : Hertz introduit le concept des ondes radios.
- 1897 : Marconi expérimente l'échange de données de type télégraphiques (signaux “longs” et “courts”) par ondes hertziennes.
- 1906 : De Forest introduit la modulation du son et permet donc la transmission de celui-ci par ondes hertziennes.
- Notion de réseau de communication dépasse donc largement le concept d'internet.

- Introduction
- Réseaux de communication
- **Couche physique**
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

## Couche physique (1/10) – Contenu

---

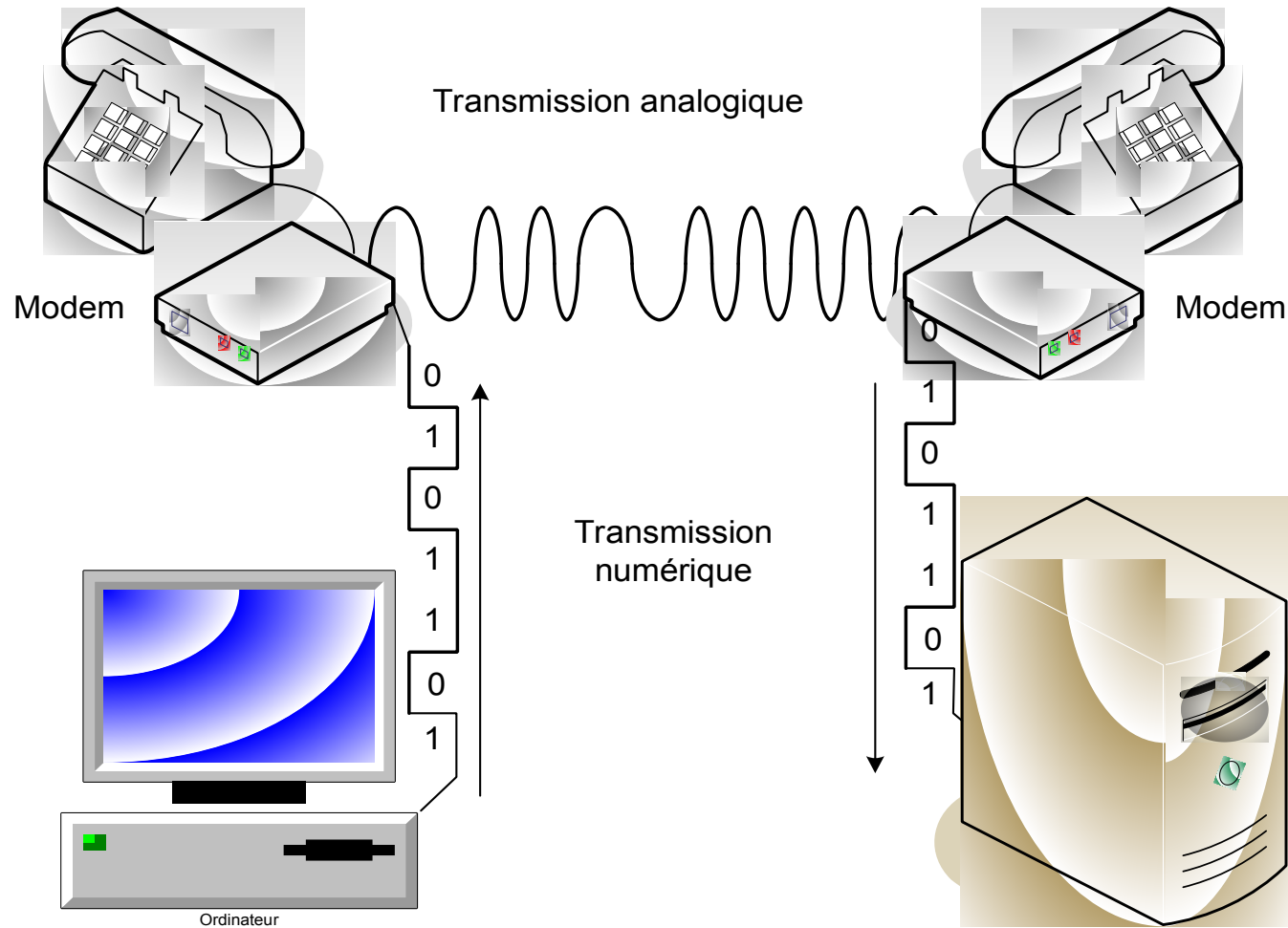
- Modes
- Direction et multiplexage
- Qualité
- Supports physiques
- Types

### Principe

- **Échange analogique :**
  - Donnée à transporter est codée en continu.
  - Donnée est acheminée sur tout le spectre d'un signal continu.
- **Échange numérique :**
  - Donnée à transporter est codée en binaire.
  - Donnée est acheminée via des valeurs discrètes par un signal continu.
- Systèmes de conversion analogique/numérique existent (ex: modems).
- Tendance actuelle : Transport numérique qui transfère de plus grandes quantités de données (cf. multiplexage).

## Couche physique (3/10) – Modes (2/2)

### Schéma



## Couche physique (4/10) – Direction et multiplexage

---

- Canaux de communication :
  - **Simplex** : Communication unidirectionnelle.
  - **Half-duplex** : Communication bidirectionnelle séparée.
  - **Full-duplex** : Communication bidirectionnelle simultanée.
- **Multiplexer** la communication :
  - Envoyer simultanément des données sur un même support.
  - Multiplexage fréquentiel : Diviser la bande passante en différentes fréquences (radio, canaux TV, etc.).
  - Multiplexage temporel : Attribuer des quantums de temps à chacun des signaux.
  - Certains supports proposent aujourd'hui un multiplexage fréquentiel et temporel.

## Couche physique (5/10) – Qualité

---

- Caractéristiques : Vitesse de transmission, fiabilité, bande passante, atténuation, prix, simplicité, solidité, etc.
- Un signal peut être perturbé en circulant sur un support physique :
  - Le signal est bruité par des éléments extérieurs.
  - Le signal est naturellement atténué au fil du temps.
- Au bout d'une certaine distance (dépendante du signal, du support et de l'environnement), le signal est tellement modifié qu'il est impossible de le décoder.
- Répétiteurs réémettent un signal "propre" tout le long de son transfert.
- Ajouter des données lors du transport pour vérifier que le signal est correctement transporté (ex: bit de parité).



### Signaux électriques et lumineux

- **Signaux électriques :**
  - Paire de fils torsadés ou câble coaxial.
  - Câble coaxial est plus fiable et plus rapide (télédistribution).
- **Signaux lumineux :**
  - Fibres optiques plus fines qu'un cheveu pouvant mesurer des milliers de km.
  - Robustes au bruit et extrêmement rapides.
  - Ex: Câbles internet souterrains dans les profondeurs de l'océan.

## Couche physique (7/10) – Supports physiques (2/4)

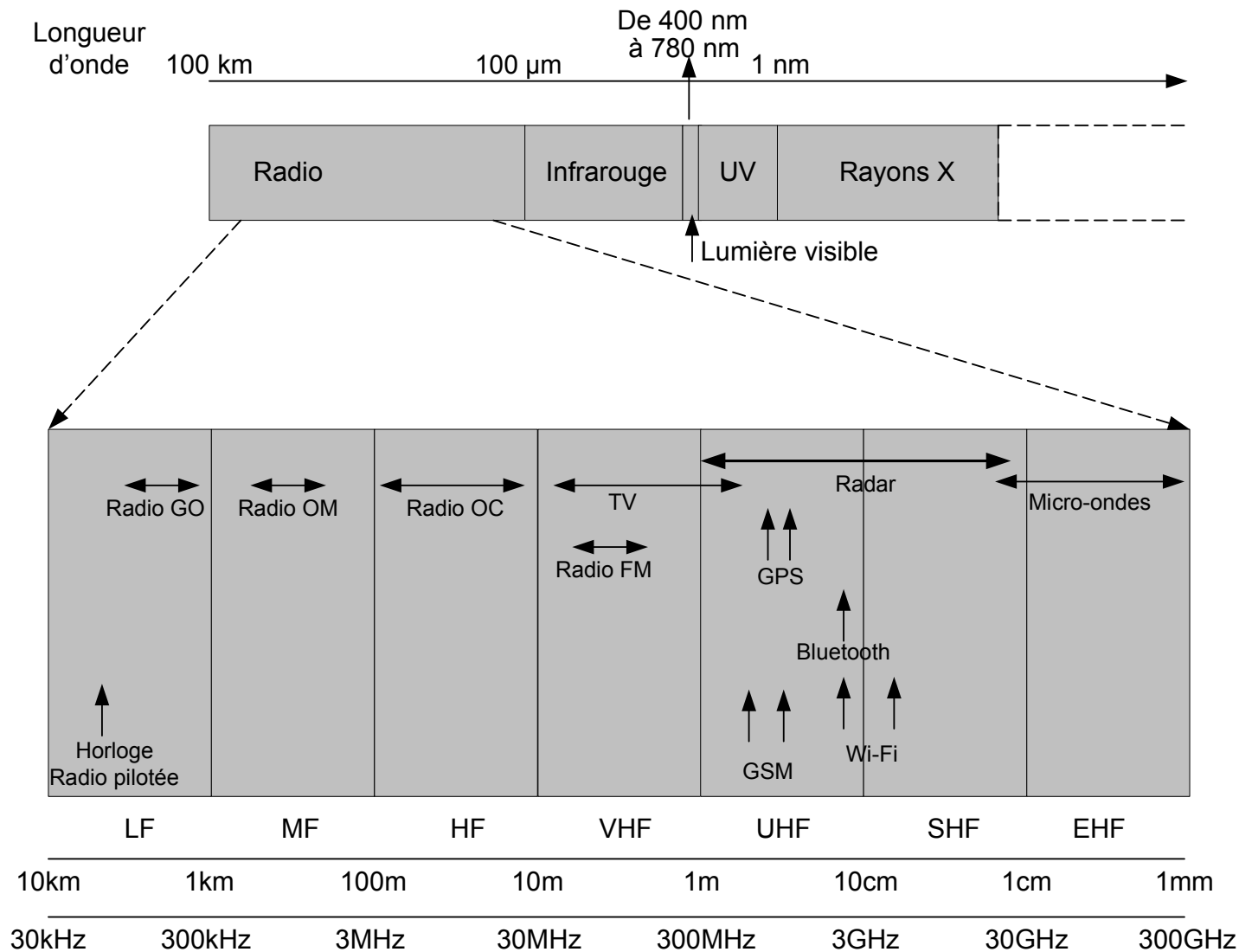
---

### Signaux électromagnétiques (1/2)

- Faciliter la mobilité des émetteurs et des destinataires.
- Utiliser historiquement pour le “broadcast” (radio).
- Plusieurs spectres fréquentiels existent :
  - Les grandes fréquences vont plus vite mais s’atténuent très rapidement et sont très sensibles aux interférences.
  - Les spectres fréquentiels ne se mélangent pas.
- Micro-ondes sont largement utilisées pour les communications de longue distance, les téléphones cellulaires, la distribution TV.
- Technologie *bluetooth* et le Wi-Fi des réseaux sans fil communiquent par ondes radio à petites distances.

# Couche physique (8/10) – Supports physiques (3/4)

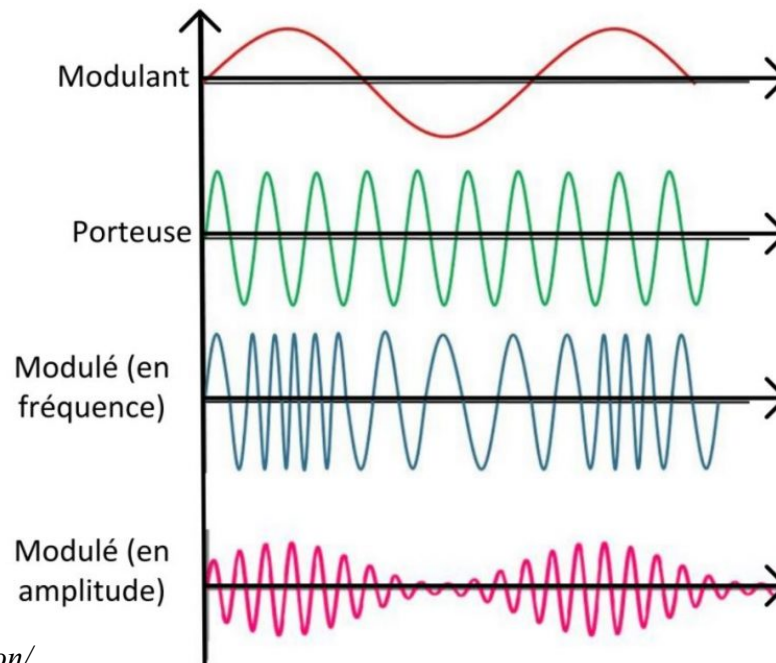
## Signaux électromagnétiques (2/2)



## Couche physique (9/10) – Supports physiques (4/4)

### Codage

- L'information binaire est codée sous forme de modulations des ondes.
- On module l'information (onde modulante) via un signal périodique de fréquence donnée (l'onde porteuse).
- Utilisation de la fréquence, de l'amplitude ou de la phase pour transmettre l'information.



<https://courselectronique.fr/modulation/>

## Couche physique (10/10) – Types

---

- Réseau téléphonique commuté.
- ADSL : Accroissement des débits par l'addition de hautes fréquences.
- Ethernet : Réseau local (typiquement en entreprise).
- Téléphonie mobile : GPRS (General Packet Radio System) (2G), UMTS (3G), LTE (4G).
- Bluetooth : Réseau sans fil à faible intensité et à connexions très courtes.
- Wi-Fi : Réseau sans fil le plus répandu à connexions courtes.

- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- **Routage**
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

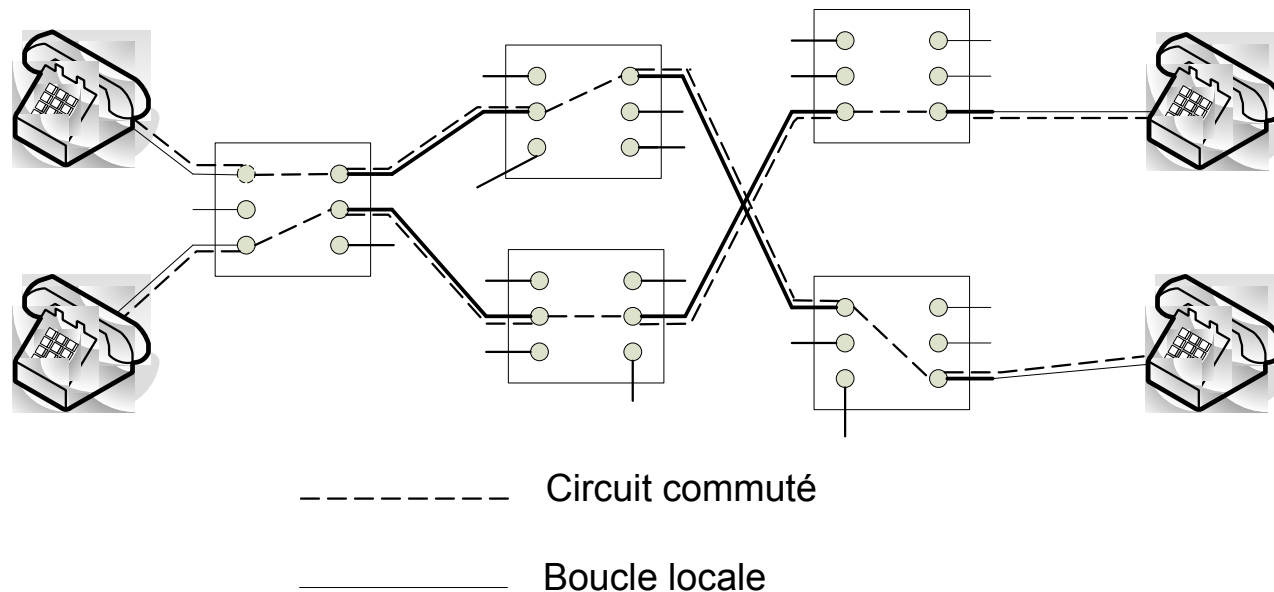
- Principe
- Commutation de circuit
- Commutation de paquets

- Transmission de l'information utilise des ressources (nœuds et lignes) du réseau.
- Routage détermine l'affectation de ces ressources aux différentes communications simultanées.
- Différents types de commutations sont possibles et dépendent du type de réseau et d'application.
- **Circuit** : Ensemble de ressources (nœuds et lignes) utilisées à un moment donné pour transporter des données.



## Routage (3/7) – Commutation de circuit

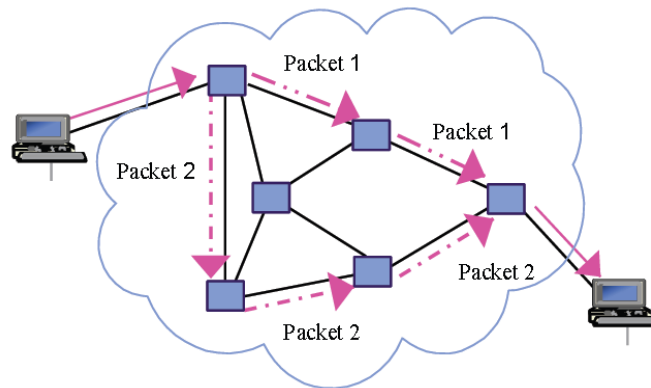
- Affecter de manière exclusive un circuit donné à une communication pendant toute sa durée.
- Garantir un flux continu de données (solution optimale pour le trafic téléphonique).
- Utiliser très inefficacement la capacité du réseau.



## Routage (4/7) – Commutation de paquet (1/4)

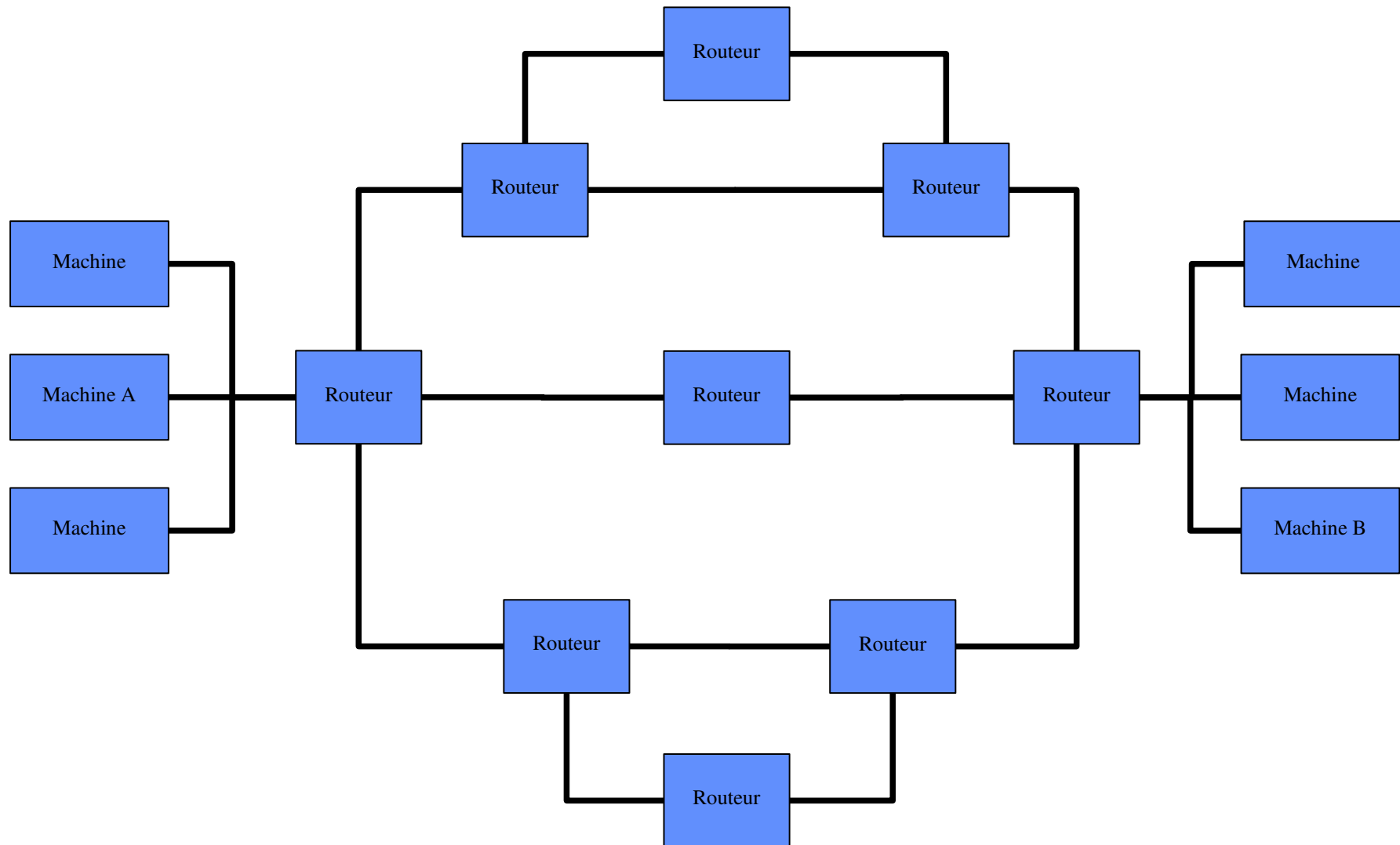
### Principe

- Découper les données en **paquets**, complétés par les adresses de l'émetteur et du destinataire.
- Choisir le circuit paquet par paquet en fonction de l'état du réseau.
- Utiliser efficacement les ressources mais aucun contrôle possible sur l'acheminement des paquets.
- Prévoir des mécanismes supplémentaires pour assurer la qualité (perte des paquets, ordre, etc.).
- Ex: Protocole IP d'internet.



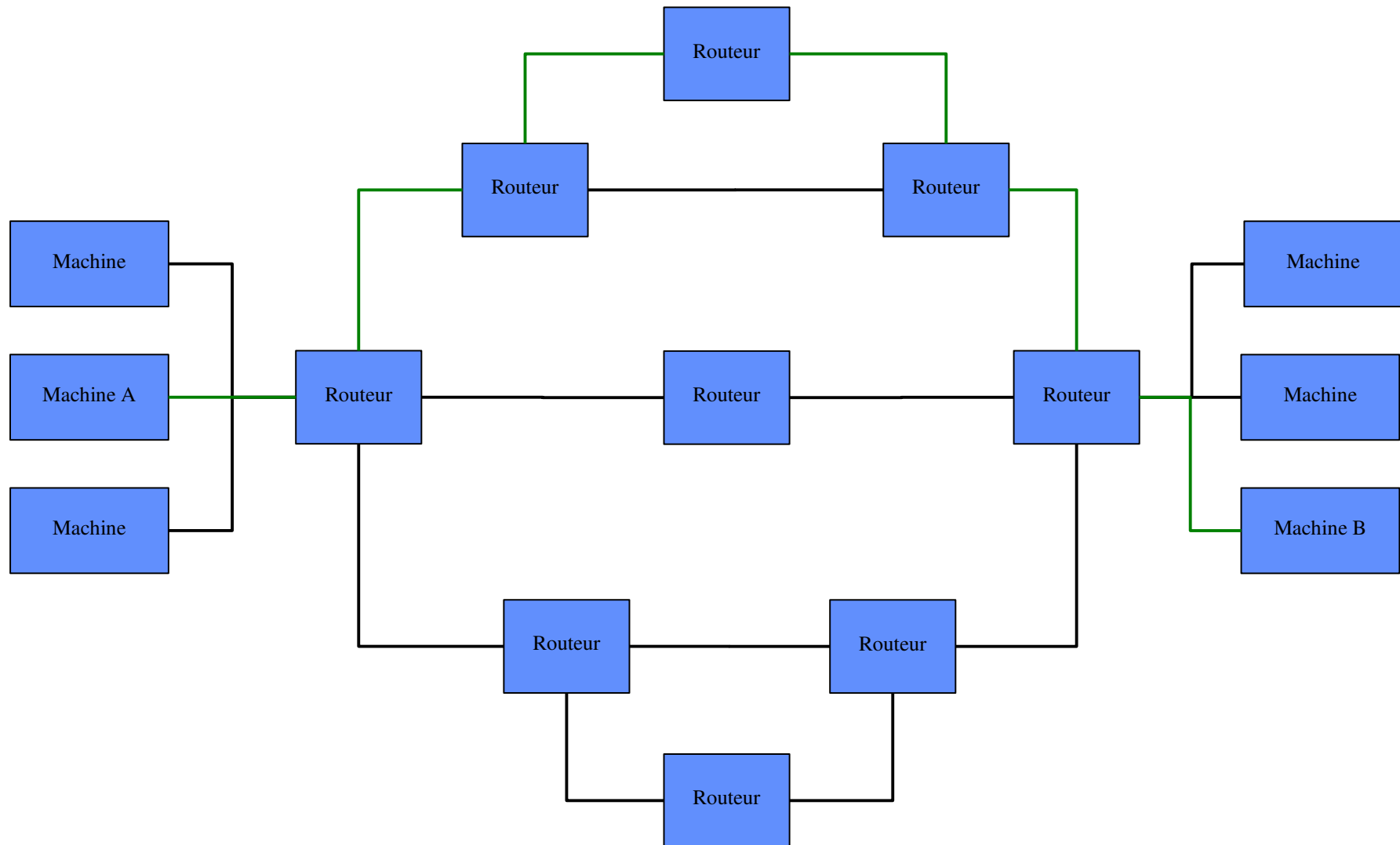
## Routage (5/7) – Commutation de paquet (2/4)

### Communication de A à B (1/3)



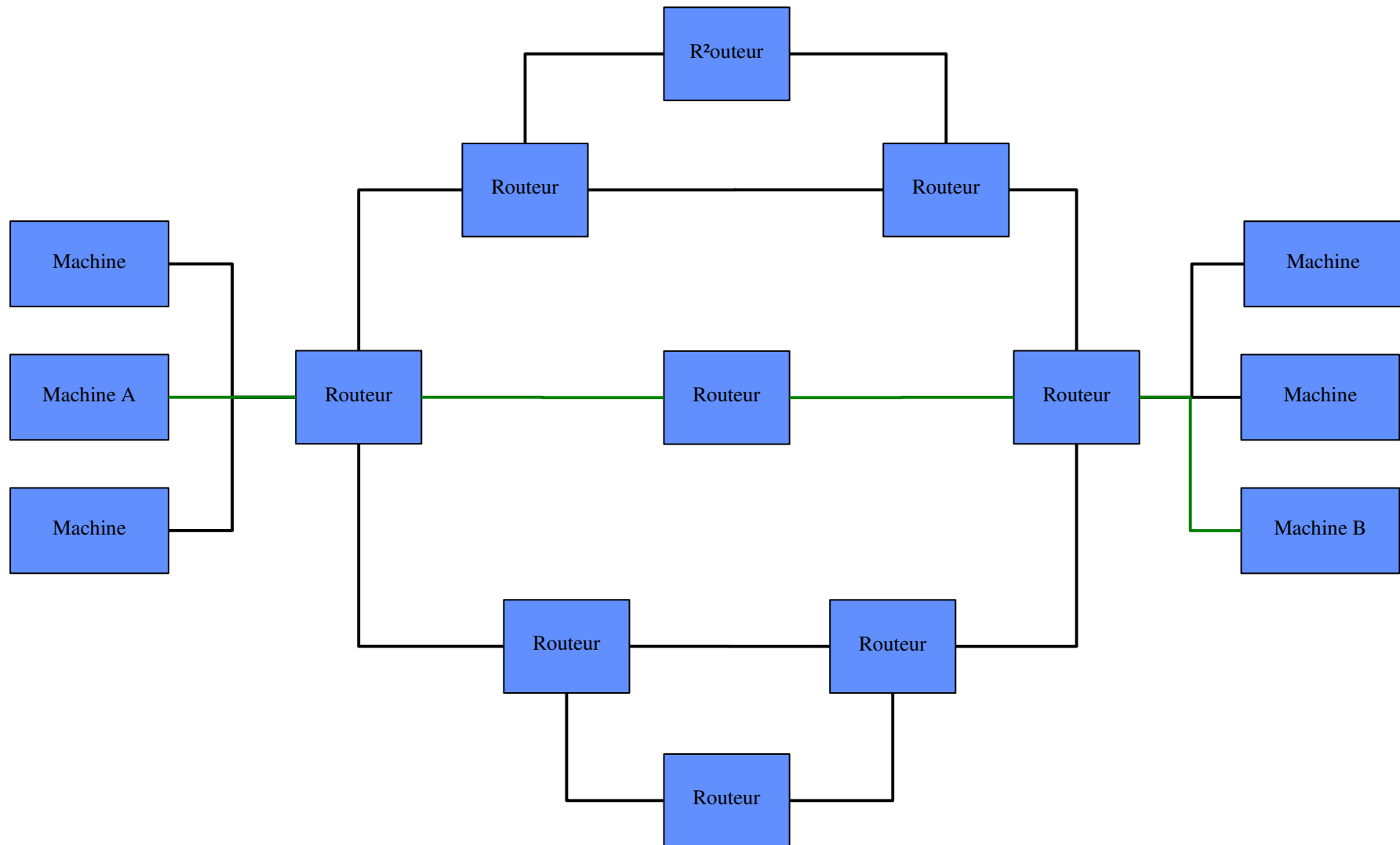
## Routage (6/7) – Commutation de paquet (3/4)

### Communication de A à B (2/3) – Paquet 1 (lent)



## Routage (7/7) – Commutation de paquet (4/4)

### Communication de A à B (3/3) – Paquet 2 (rapide)



- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- **Modèle TCP/IP**
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

## Modèle TCP/IP (1/6) – Contenu

---

- Architecture en couches
- Commutation de paquet
- Représentation

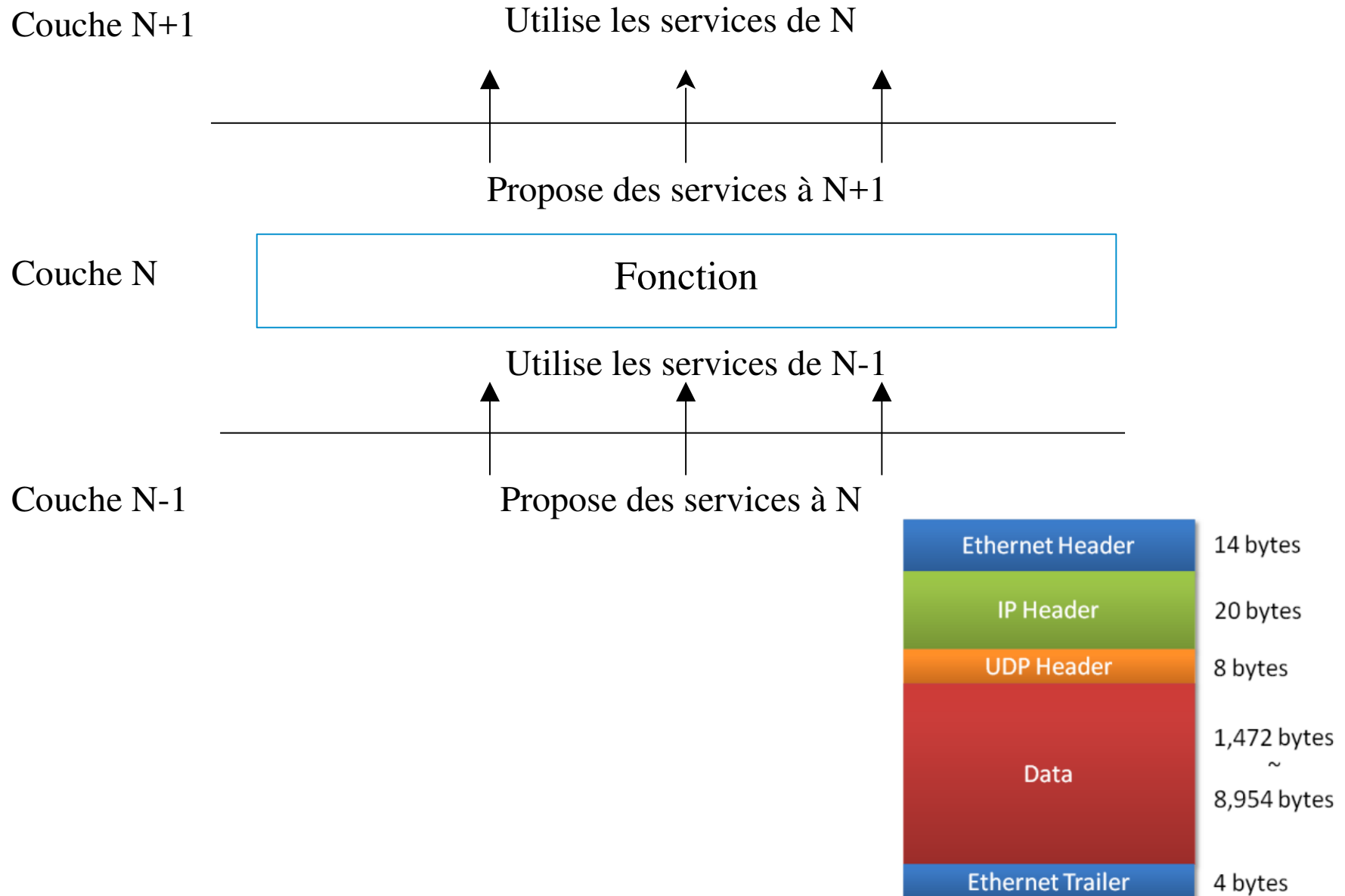
## Modèle TCP/IP (2/6) – Architecture en couches (1/2)

---

- Protocoles TCP/IP proposent une architecture “méta” pour réseaux hétérogènes.
- Essayer de découpler les différents problèmes.
- **Architecture en couches** :
  - Chaque couche propose des services et des protocoles à la couche suivante “du dessus”.
  - Chaque couche ajoute ses propres informations aux données à envoyer pour assurer ses services.
- Couches sont **indépendantes** :
  - Savent comment communiquer avec les autres couches.
  - Savent ce qu’elles recevront des couches “du bas”.
  - Ignorent comment les autres couches fonctionnent.
  - Sont interchangeables à un niveau donné (ex: filaire et Wi-Fi).



# Modèle TCP/IP (3/6) – Architecture en couches (2/2)

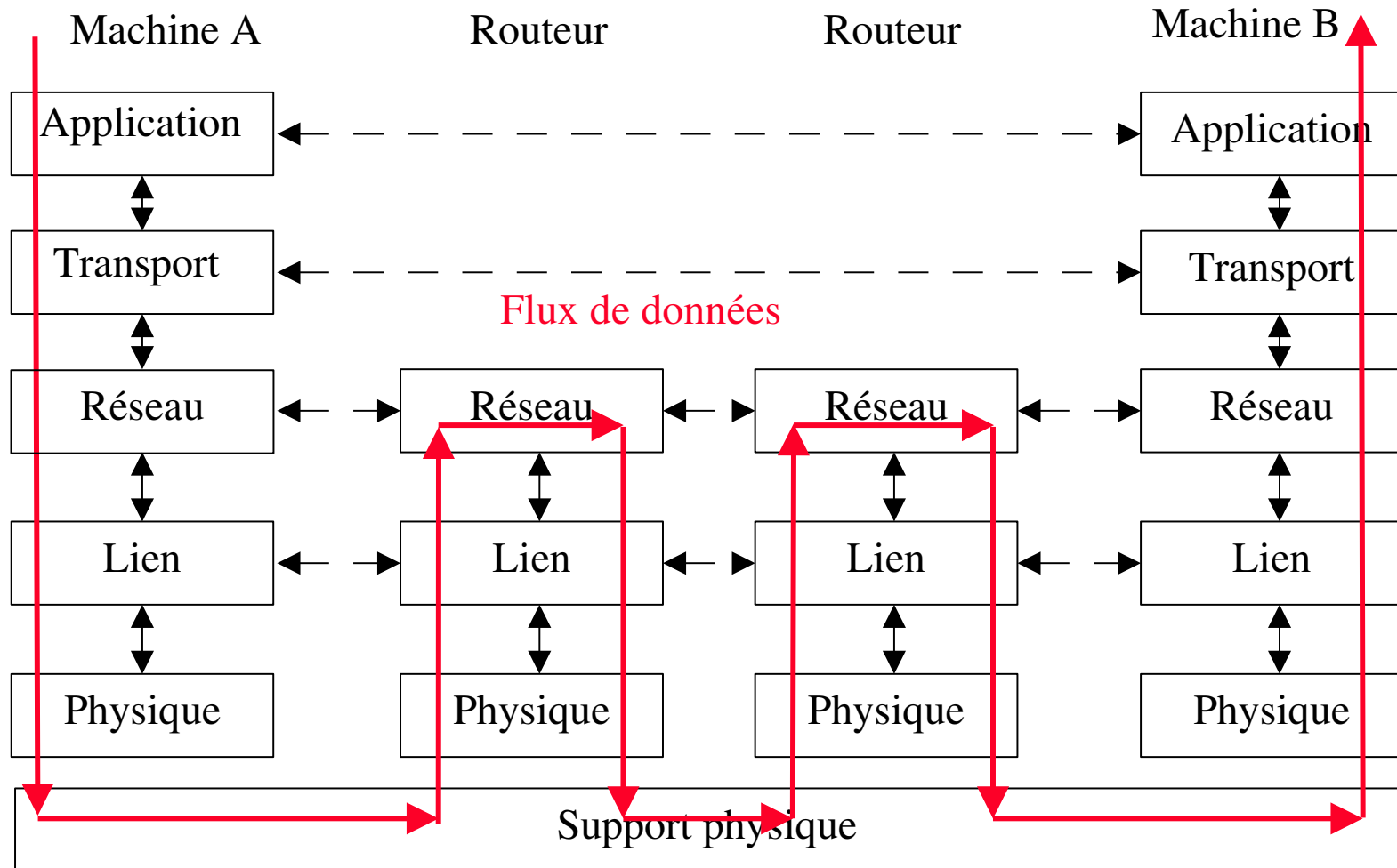


## Modèle TCP/IP (4/6) – Commutation de paquet (1/2)

---

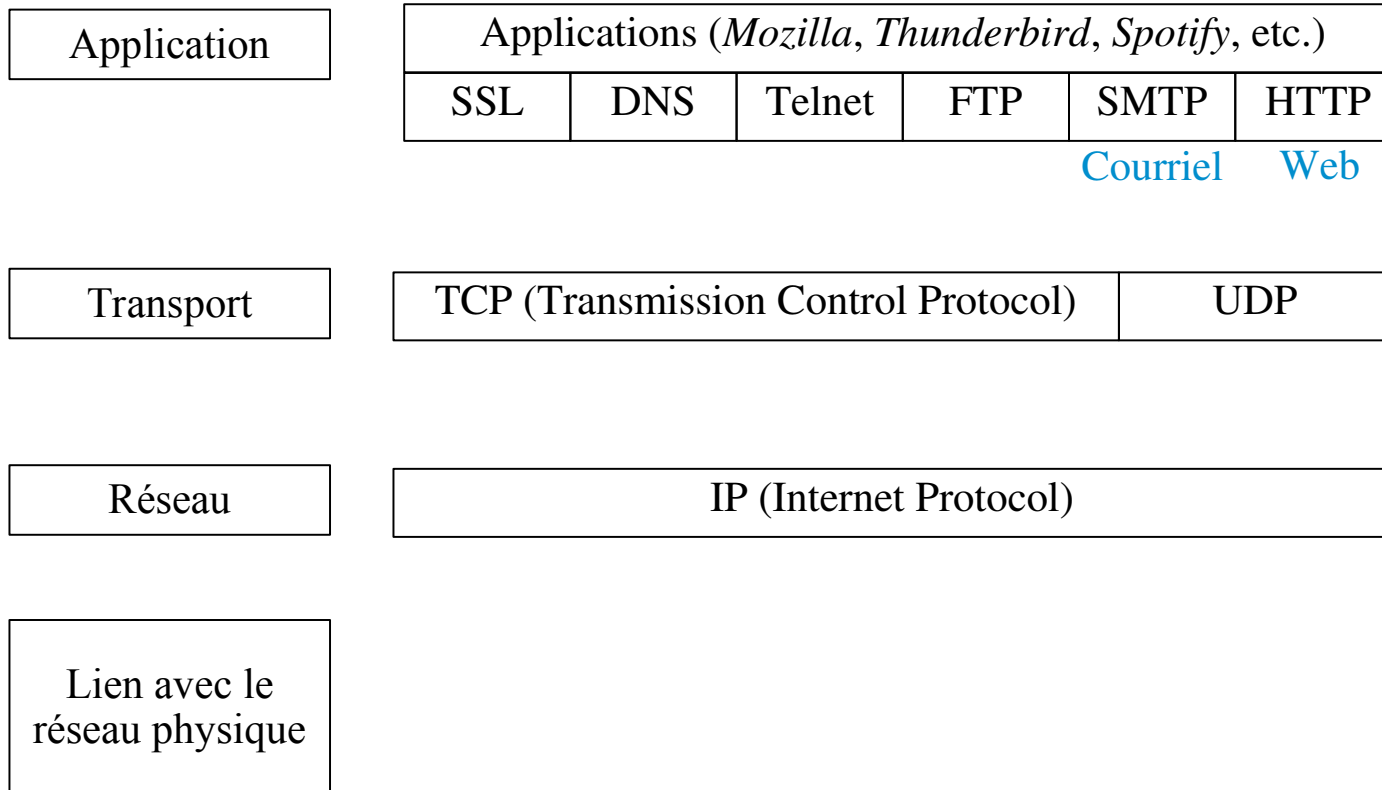
- Données divisées en petites parties : **Paquets**.
- Chaque couche agit comme si elle était en communication avec la couche correspondant du récepteur (ex: navigateur télécharge un document HTML).
- En réalité :
  - Données “descendent” à travers les différentes couches de l’émetteur.
  - Données (avec informations supplémentaires) sont transférées par la couche physique (couche la plus basse).
  - Données “remontent” par les différentes couches du récepteur.

## Modèle TCP/IP (5/6) – Commutation de paquet (2/2)



# Modèle TCP/IP (6/6) – Représentation

---



- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- **Protocole IP**
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

## Protocole IP (1/7) – Contenu

---

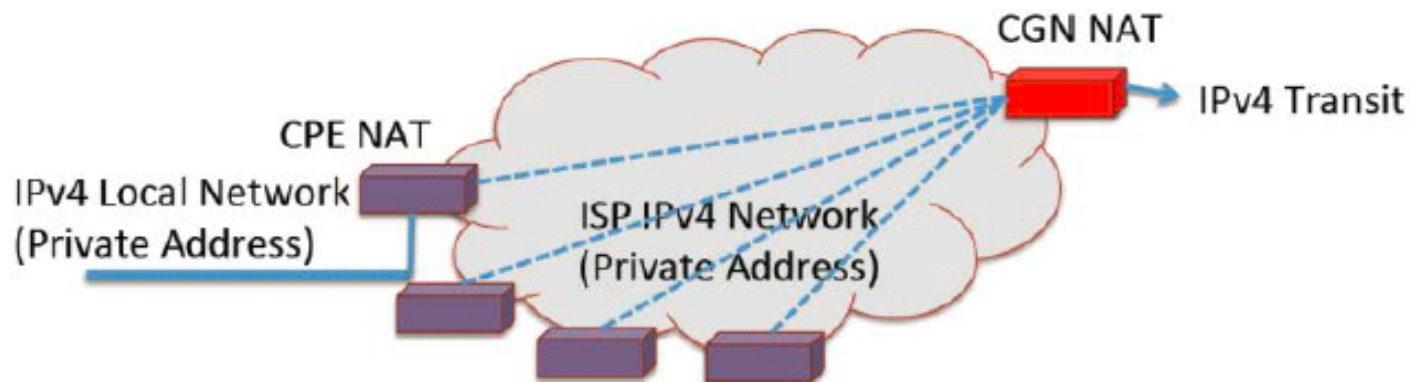
- Adresses IP
- Principe
- Caractéristiques
- Routage
- Exemples

- Internet Protocol.
- Chaque nœud connecté est identifié par un numéro unique : Adresse IP.
- Deux standards d'adresses coexistent :
  - IPv4 : 4 groupes de 1 octet représentés en notation décimale et séparés par des points.  
Ex: 164.15.59.200
  - IPv6 : 8 groupes de 2 octets représentés en notation hexadécimale et séparés par des doubles points.  
Ex: 2001:0db8:0000:85a3:0000:0000:ac1f:8001
- Gestion centralisée de ces numéros de manière à éviter (en théorie) les conflits.
- Adresses IP sont payantes.

## Protocole IP (3/7) – Adresses IP (2/2)

### IPv4 vs IPv6

- IPv6 est une nécessité pour l'internet des objets.
- La transition vers IPv6 est complexe et beaucoup trop lente (il faut remplacer tout les matériels actifs).
- **Network Address Translation** (NAT) permet de gérer le nombre limité d'adresses IPv4 :
  - Plusieurs appareils connectés à un même réseau local partagent la même adresse IP vis-à-vis d'internet.
  - Matériel intelligent assure que les données sont envoyées aux bons destinataires.





## Protocole IP (4/7) – Principe

---

- Paquets sont envoyés dans le réseau avec l'adresse de destination.
- Tous les nœuds connectés peuvent théoriquement recevoir les données (sécurité).
- Routage basé sur la commutation de paquet.
- Pour limiter le nombre de paquets envoyés, les réseaux sont organisés en sous-réseaux connectés avec des routeurs.
- Chaque paquet utilise son propre chemin pour arriver à destination.

## Protocole IP (5/7) – Caractéristiques

---

- **Pas de séquence** : Paquets arrivent dans un ordre aléatoire.
- **Pas de poignée de main** : Pas de vérification de l'existence du récepteur avant l'envoi d'un paquet (ex: commande "ping").
- **Non connecté** : Pas de connexion exclusive entre émetteur et récepteur.

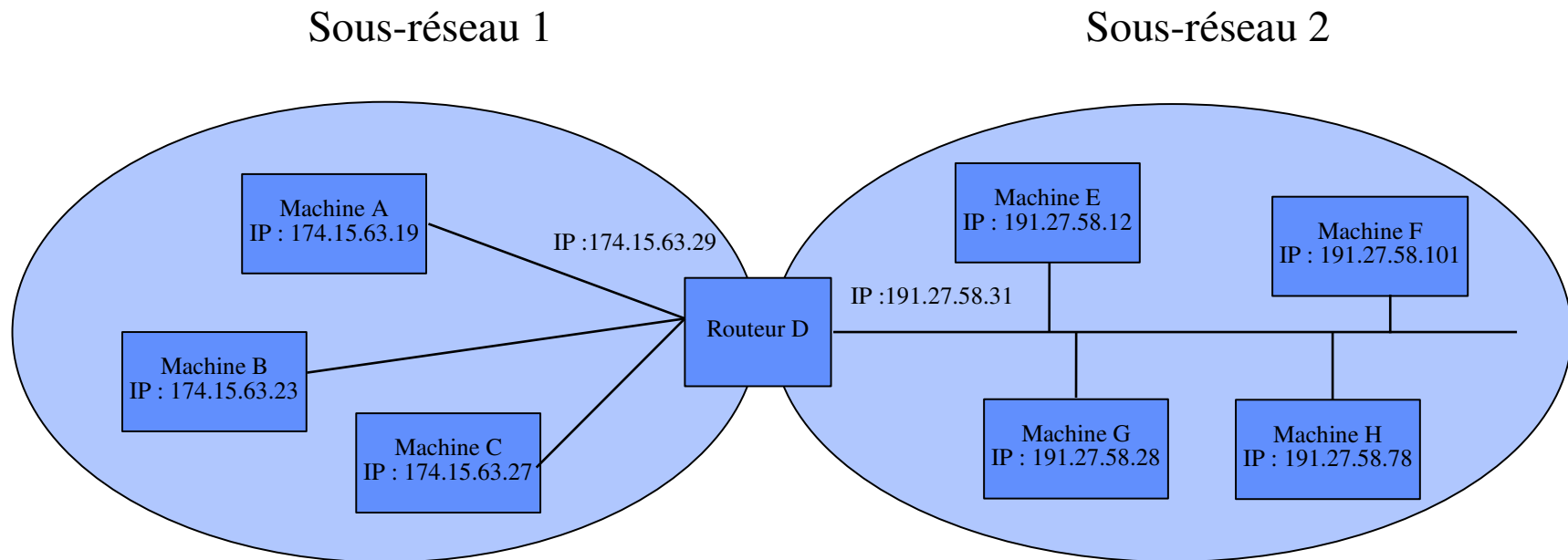
## Protocole IP (6/7) – Routage (1/2)

---

- Routage : Trouver un chemin pour chaque paquet pour aller de l'émetteur au récepteur.
- Possibilités :
  - Calculer le routage optimal au moment où la connexion est établie (principe de la commutation de circuit).
  - Calculer le routage optimal en temps réel pour chaque paquet (mais impossible pour des gros réseaux).
  - Utiliser des **informations locales** (notamment l'historique) pour estimer le “meilleur” nœud à qui propager le paquet.

# Protocole IP (7/7) – Routage (2/2)

## Sous-réseaux



De A à C	Src IP	Dest IP	Données
	174.15.63.19	174.15.63.27	

De A à H	Src IP	Dest IP	Données
	174.15.63.19	174.15.63.29	
	191.27.58.31	191.27.58.78	

- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- **Protocole TCP**
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- Conclusions

## Protocole TCP (1/2) – Principe

---

- **T**ransmission **C**ontrol **P**rotocol.
- Idée : Utiliser le protocole IP en ajoutant l'envoi de paquets supplémentaires à des fins de gestion de connexions.
- Fournir une connexion avec des **services orientés qualité** :
  - Poignée de main (demande pour une connexion).
  - Gérer un numéro de séquence pour chaque paquet.
  - Contrôler un flux continu de données.
  - Gérer les paquets perdus (via système d'acquittement).
- **Beaucoup de paquets redondants nécessaires pour la transmission de gros volume de données** (les Américains ont perdu l'équivalent de 3,4 milliards d'heures en 2021).

## Protocole TCP (2/2) – Numéro de port

---

- Multitude d'applications en ligne (courriel, Web, etc.) :
  - Quasi toutes utilisent le TCP.
  - Toutes envoient et reçoivent des paquets à partir du même ordinateur.
- Pour identifier quels paquets correspond à quel service, le protocole TCP associe à chaque paquet un **numéro de port**.
- 65,535 numéros de ports disponibles dont l'attribution est une question de **convention**.
- Exemples classiques :
  - Port 22 : Protocole SSH (connexion sécurisée en ligne de commande).
  - Port 80 : Protocole HTTP (serveur Web).
  - Port 143 : Protocole IMAP (réception de courriel).

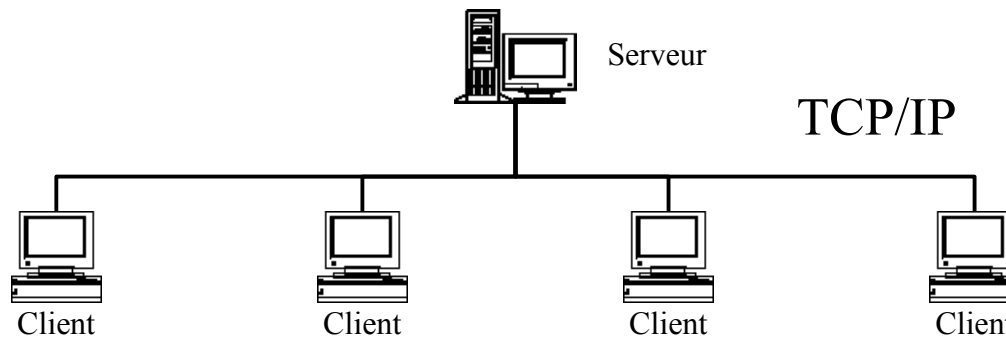
- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- **Architecture client/serveur**
- Évolutions
- Conclusions



## Architecture client/serveur (1/2) – Principe

---

- Architecture client/serveur :
  - **Services** proposés par un serveur à des clients.
  - **Données** d'un serveur sont accessibles par des clients.
  - **Applications** sur un serveur peuvent être exécutées par des clients.
- Serveurs et clients communiquent à travers un réseau (par exemple en utilisant les protocoles TCP/IP).



## Architecture client/serveur (2/2) – Évolution

---

- Initialement : Terminaux ne fournissaient qu'un écran et un clavier.
- Aujourd'hui : Clients et serveurs partagent des données et/ou des applications.
- **Serveurs de données** gèrent des informations :
  - Bases de données (ex: *Oracle*, *MySQL*).
  - Documents (ex: Web).
- **Serveurs d'applications** proposent des composants d'une application (ex: *SAP*, *Google Documents*).
- **Informatique dans les nuages** ("cloud computing") :
  - "Gros" serveurs (des millions pour proposer les services de Google ou Facebook).
  - Appareils utilisateurs "peu" puissants (ex: smartphones).

- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- **Évolutions**
- Conclusions

- Accélération des supports et de leur bande passante (fibres optiques, 5G et 6G, etc.).
- Amélioration des protocoles et de l'adressage (IPv6 pour gérer la pénurie d'adresses IPv4).
- Convergence croissante des infrastructures :
  - Tous les supports physiques et les nœuds peuvent acheminer le TCP/IP.
  - Triple play : Téléphonie, TV et internet avec un seul abonnement.
- Avenir : Utiliser l'IA pour effectuer un routage intelligent.

- Introduction
- Réseaux de communication
- Couche physique
- Routage
- Modèle TCP/IP
- Protocole IP
- Protocole TCP
- Architecture client/serveur
- Évolutions
- **Conclusions**

- Protocoles sont des règles permettant à des nœuds de communiquer.
- Une couche physique est nécessaire pour acheminer des données entre deux nœuds finaux.
- Modèle TCP/IP est organisé en couches et propose plusieurs protocoles :
  - IP pour les fonctionnalités basiques (routage local).
  - TCP pour des services orientés qualité.
  - Multiples protocoles applicatifs.



UNIVERSITÉ  
LIBRE  
DE BRUXELLES

# Introduction à l'informatique

## Réseaux I

Leçon basée sur celle du Prof. NICOLAS VAN ZEEBROECK