

IN20 Informatique

Séance 8

Comment Internet fonctionne-t-il ?

Sébastien Combéfis, Quentin Lurkin

lundi 23 novembre 2015



Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation Commerciale – Pas de Modification 4.0 International.

Rappels

- Comprendre le World Wide Web et son fonctionnement
 - Différence entre internet et le WWW
 - Concept du client/serveur et serveur web
 - Protocole HTTP et description de ressources avec un URL
- Initiation à plusieurs langages du web
 - HTML pour composer des documents
 - CSS pour définir des feuilles de style
 - Javascript pour intégrer des aspects dynamiques

Objectifs

- Comprendre ce qu'est **Internet** et son fonctionnement
 - Communication inter-machines
 - Réseau local (LAN) et FAI
 - Réseau de réseaux (WAN) et routage
- **Échange de messages** sur Internet
 - Services et protocoles
 - Protocole HTTP et World Wide Web
 - Internet des objets et IPv6

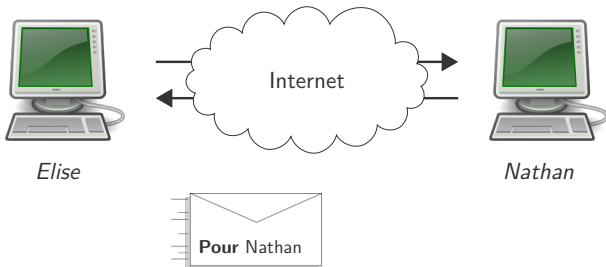
Communiquer par Internet

- Les machines sont identifiées par une **adresse** sur Internet

Utilisée pour échanger de l'information

- Un message est **envoyé** par un émetteur vers un destinataire

Internet se charge d'envoyer le message vers la destination



Réseau local



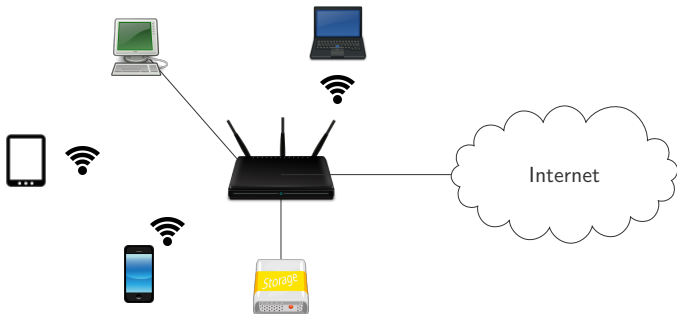
Modem-routeur (1)

- Création d'un **réseau local** avec un modem-routeur

Utilisée pour échanger de l'information

- Plusieurs appareils sont **connectés** au modem-routeur

Ordinateur fixe et portable, smartphone, tablette, disque réseau...



Réseau local (LAN)

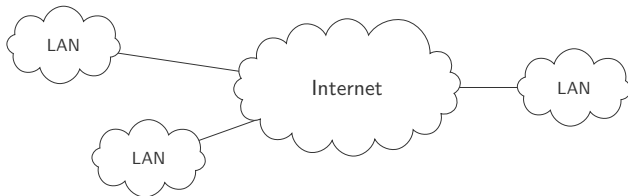
- Les machines d'un réseau local **communiquent directement**

Échanges des messages via le modem-routeur

- Le modem-routeur fait l'**interface** avec Internet

Il sait envoyer des messages au travers d'Internet

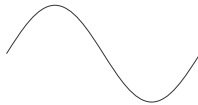
- Distinction entre une adresse **locale et distante**



Modem-routeur (2)

- **Modulateur-démodulateur** pour **convertir les signaux**

*Périphérique de communication via un réseau analogique
(réseau téléphonique commuté, électrique, radio...)*



Analogique



100100101010

Digital



- **Routeur** pour assurer le **routage des paquets**

Effectue le transfert des messages à travers Internet



Ethernet

- Protocole de **réseau local** (ISO/IEC 8802-3)

Paires torsadées (1 Gbit/s) ou fibres optiques (10 Gbit/s)

- Plusieurs **versions** (vitesse, modulation, media)

10Base-T, 10Base-2, 10Base-5, 100Base-TX, 100Base-FX

1000Base-T, 1000Base-LH, 1000Base-LX

10GBase-T, 10GBase-LX4, 10GBase-CX4

40GBase-CR4, 100GBase-SR10, 100GBase-LR4



- **Wireless Fidelity** (WiFi, IEEE 802.11)

Réseaux locaux sans fil à haut débit dans un voisinage limité

- Jusque 1 Gbit/s sur un rayon de plusieurs **dizaine de mètres**

Ondes radios bande 2.4 GHz, couche liaison proche Ethernet

Année	Norme	Débit
1997	802.11	1-2 Mbit/s
1999/1999/2003	802.11a/b/g	jusque 54 Mbit/s
2009	802.11n	600 Mbit/s
2013	802.11ac	1 Gbit/s



Bluetooth

- **Bluetooth** (IEEE 802/15) conçu par Ericsson en 1994
Communication sans fil d'appareils numériques
- Bande de fréquence de 2.4 GHz comme WiFi
- Débit de 1 Mbit/s dans un rayon de **quelques mètres**



Internet



THE INTERNET

Réseaux interconnectés (WAN)

- **Internet** est un ensemble de réseaux interconnectés

Une grande toile composées de nœuds reliés entre eux

- Plusieurs **types** de réseaux

Privés, publics, universitaires, commerciaux, gouvernementaux...

- Possibilité de **transférer de l'information** au travers des réseaux

Plusieurs chemins possibles pour relier deux nœuds

Connexion directe (1)

- Deux machines sont **directement connectées** entre elles

Physique avec un câble (Ethernet) ou sans fil (WiFi, Bluetooth)

- Nécessite **un seul câble** entre les deux machines

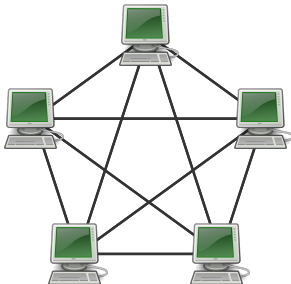


Connexion directe (2)

- On peut également connecter N machines **deux à deux**

Nécessitera $\frac{N(N-1)}{2}$ câbles (ou connexions sans fil)

- Communication directe, mais **connexions complexes** et lourdes



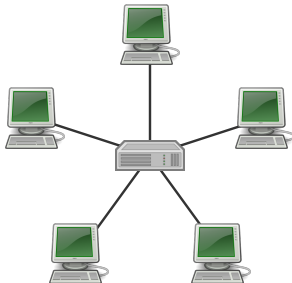
Routeur

- Un **routeur** est un « petit » ordinateur spécialisé

Relaie des messages d'une source vers une destination

- Chaque ordinateur n'est **connecté qu'au routeur**

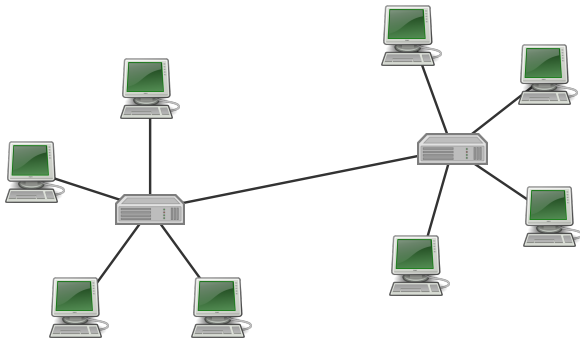
Ne nécessite plus que N câbles pour relier N machines



Réseau de réseaux (1)

- **Interconnexion** de réseaux en reliant les routeurs

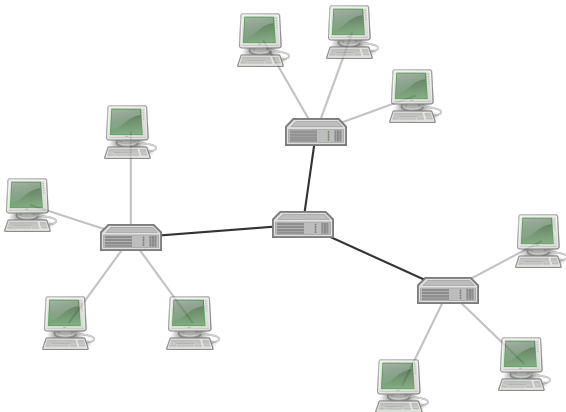
Un routeur n'étant finalement qu'un ordinateur



Réseau de réseaux (2)

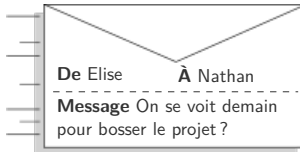
- **Passage à l'échelle** en répétant la structure

En connectant des routeurs ensemble avec un routeur central



Adresse

- Toute machine est identifiée par une **adresse unique**
Identification de la machine à l'intérieur de son réseau
- Plusieurs **types d'adresses** selon le type de réseau
Une machine peut avoir plusieurs adresses
- Adresse utilisée pour la **communication** entre machines



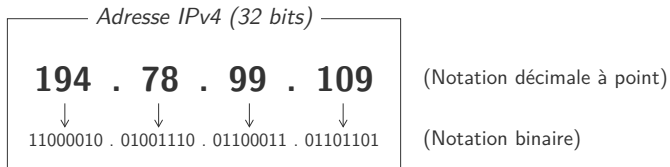
Adresse IP

- **Adresse IP** attribuée aux machines connectées

Adresse reçue lors de la connexion, utilisée pour le routage

- **Tout matériel** connecté à un réseau et utilisant le protocole IP

Routeur, ordinateur, modem ADSL, imprimante, Playstation®...



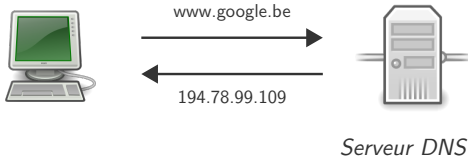
Nom de domaine (DN)

- Un **nom de domaine** est un alias d'une adresse IP

Plus facile à lire et retenir pour un être humain

- **Résolution** d'un nom de domaine pour trouver l'adresse IP

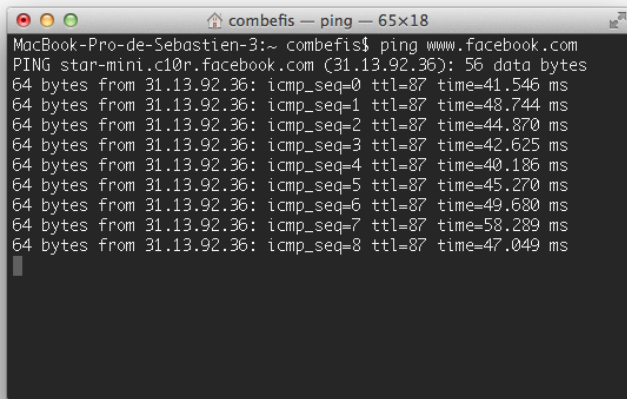
Interrogation d'un serveur de nom de domaine (DNS)



Outil ping

- Tester l'**accessibilité** d'une machine à travers Internet

Permet également de mesurer le temps de réponse

A screenshot of a macOS terminal window titled 'combefis — ping — 65x18'. The window shows the command 'ping www.facebook.com' being executed. The output displays the IP address 31.13.92.36 and eight successful ping responses, each showing 64 bytes received, TTL of 87, and varying response times between approximately 40ms and 58ms.

```
MacBook-Pro-de-Sebastien-3:~ combefis$ ping www.facebook.com
PING star-mini.c10r.facebook.com (31.13.92.36): 56 data bytes
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=0 ttl=87 time=41.546 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=1 ttl=87 time=48.744 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=2 ttl=87 time=44.870 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=3 ttl=87 time=42.625 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=4 ttl=87 time=40.186 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=5 ttl=87 time=45.270 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=6 ttl=87 time=49.680 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=7 ttl=87 time=58.289 ms
64 bytes from 31.13.92.36: icmp_seq=8 ttl=87 time=47.049 ms
```

Adresse MAC

- Identification physique d'une machine avec une **adresse MAC**

Stocké dans une carte réseau et unique au monde

- Utilisée par le protocole **Ethernet** pour transmettre des trames

Transmission de messages dans la couche physique

Adresse MAC (48 bits)

5E : FF : 56 : A2 : AF : 15

(Notation hexadécimale)

↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
01011110 : 11111111 : 01010110 : 10100010 : 10101111 : 00010101

(Notation binaire)

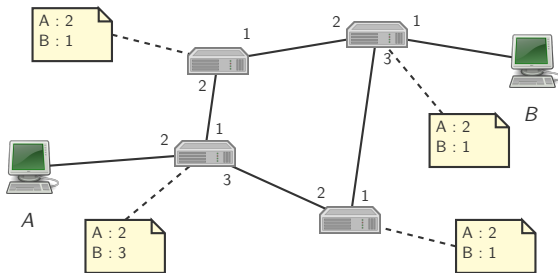
Routage (1)

- Transfert **pas à pas** d'un message vers une destination

Le message est passé de machine en machine à travers Internet

- Chaque routeur possède une **table de routage**

Détermine sur quel lien envoyer un message reçu



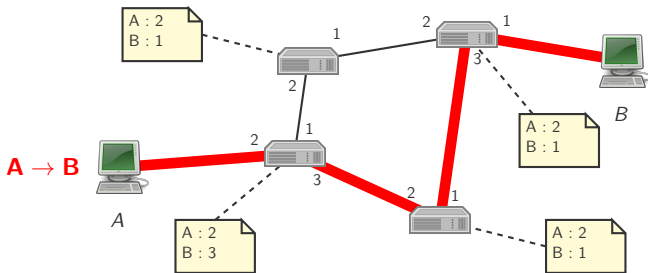
Routage (1)

- Transfert **pas à pas** d'un message vers une destination

Le message est passé de machine en machine à travers Internet

- Chaque routeur possède une **table de routage**

Détermine sur quel lien envoyer un message reçu



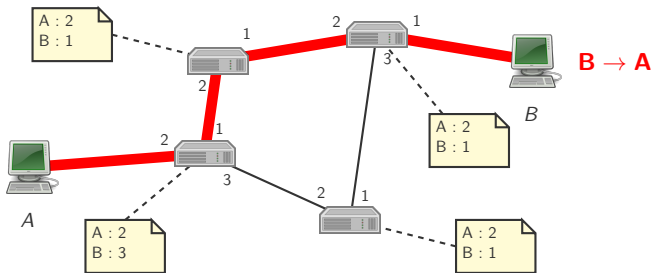
Routage (1)

- Transfert **pas à pas** d'un message vers une destination

Le message est passé de machine en machine à travers Internet

- Chaque routeur possède une **table de routage**

Détermine sur quel lien envoyer un message reçu



Routage (2)

- Internet est très **résistant** aux défaillances physiques

Plusieurs routes existantes pour relier deux machines

- Tables de routage **mise à jour** dynamiquement

Protocoles OSPF, BGP...

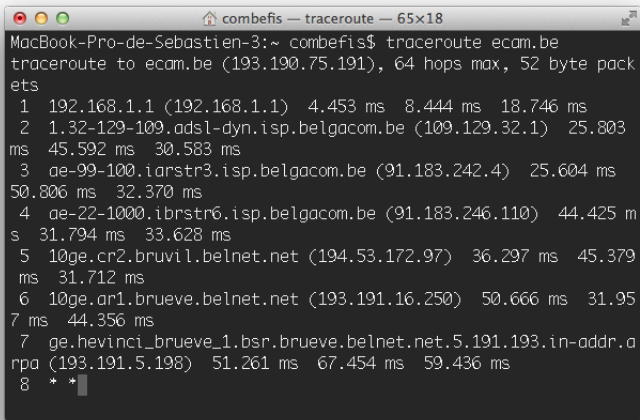
- Modem-routeur dirige les messages **sur le LAN ou vers le WAN**

Pas besoin d'accès à Internet pour communiquer localement

Outil traceroute

- **Tracer la route** suivie par des paquets de données

Envoi de paquets avec une durée de vie limitée et incrémentée



```
MacBook-Pro-de-Sebastien-3:~ combefis$ traceroute ecam.be
traceroute to ecam.be (193.190.75.191), 64 hops max, 52 byte packets
 1  192.168.1.1 (192.168.1.1)  4.453 ms  8.444 ms  18.746 ms
 2  1.32-129-109.adsl-dyn.isp.belgacom.be (109.129.32.1)  25.803
ms  45.592 ms  30.583 ms
 3  ae-99-100.iarstr3.isp.belgacom.be (91.183.242.4)  25.604 ms
50.806 ms  32.370 ms
 4  ae-22-1000.ibrstr6.isp.belgacom.be (91.183.246.110)  44.425 m
s  31.794 ms  33.628 ms
 5  10ge.cr2.bruvil.belnet.net (194.53.172.97)  36.297 ms  45.379
ms  31.712 ms
 6  10ge.ar1.brueve.belnet.net (193.191.16.250)  50.666 ms  31.95
7 ms  44.356 ms
 7  ge.hevinci_brueve_1.bsr.brueve.belnet.net.5.191.193.in-addr.a
rpa (193.191.5.198)  51.261 ms  67.454 ms  59.436 ms
 8  * * *
```

Fournisseur d'accès à Internet

S E R V I C E

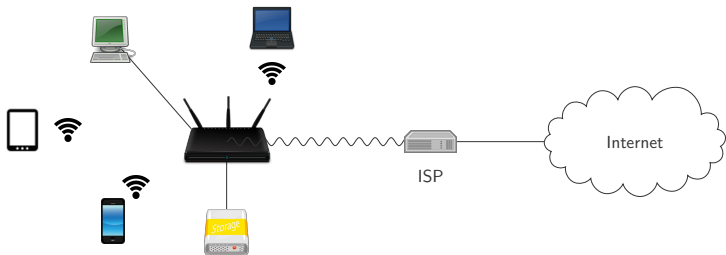
Fournisseur d'accès à Internet (ISP)

- Création de réseaux en **connectant** des machines entre elles

Pas possible de relier directement tous les réseaux entre eux

- Utilisation de **réseaux déjà existants** du client

Réseau téléphonique, d'électricité, de télévision...



Réseau des ISPs

- Les ISPs gèrent des **routeurs spéciaux** connectés entre eux

Traversée du réseau des réseaux des ISPs, vers le réseau d'arrivée

- ISPs aussi connectés à des **gros fournisseurs de services**

Google, Facebook, Netflix...



Adresse IP dynamique

- Chaque fournisseur d'accès à Internet **possède des adresses** IP

L'ensemble d'adresses possédé est limité

- **Attribution dynamique** d'une adresse IP

Obtenue lors de la connexion à l'ISP

- Regroupement de plusieurs adresses IPs par **zones privées**

Plusieurs machines dans le monde avec la même adresse IP



Service et protocole

4951C PROTOCOL ANALYZER
HEWLETT • PACKARD



51C PROTOCOL ANALYZER
HEWLETT • PACKARD

har dk e y d
h a f d
an dk e y
h a f d

DTE
DCE
RTS
CTS
DSR
DSR

Protocole de communication

- **Spécification de règles** pour un type de communication donné

Permet la communication sur une même couche d'abstraction

- Protocole basé en mode **texte** ou en mode **binaire**

Selon le niveau d'abstraction de la communication

- Définition des **phases** et du **format** des messages

Initialisation, fermeture, négociation de paramètres...

Protocole IP

- Protocole de communication **non orienté connexion**

Deux machines peuvent s'échanger des paquets IP

- **Paquet IP** acheminé d'une source vers une destination

Les paquets peuvent suivre des chemins différents

- La seule garantie est la **non corruption** de l'entête du paquet
 - mais possible corruption des données,
 - ordre d'arrivée des paquets différents de celui d'envoi,
 - perte ou destruction de paquets,
 - et duplication de paquets

Protocole DHCP

- Protocole de **configuration automatique** d'une machine

Notamment pour affecter une adresse IP à la machine

- Le serveur DHCP envoie des **offres** au client

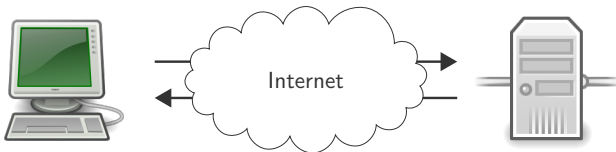
Contient adresse IP de la passerelle par défaut, du serveur DNS...

- Les adresses IP sont attribuées pour une **durée limitée** (bail)

Demande de renouvellement au terme du bail

Client/Serveur

- Communication entre **un client et un serveur**
 - 1 Le client se connecte au serveur
 - 2 Le serveur accepte la connexion
 - 3 Le client et le serveur communiquent
 - 1 Le client envoie une requête au serveur
 - 2 Le serveur analyse la requête et répond au client
- La connexion peut être **fermée** par le client ou le serveur



Protocole TCP

- Protocole de communication **orienté connexion**

Deux machines peuvent s'échanger des paquets TCP

- Transmission **fiable** des paquets entre deux machines

Établissement préalable d'une connexion entre les deux machines

- Identification d'une application avec un **numéro de port**

Nombre entier codé sur 16 bits (de 1 à 65535)



Serveur HTTP

Protocole HTTP

- Protocole applicatif de **transfert hypertexte**

Communication client/serveur utilisé pour le World Wide Web

- Protocole en **mode texte**, basé sur le protocole TCP

Basé sur le protocole TCP avec le port 80 pour le serveur

- **Plusieurs versions** du protocole (HTTP/1.1 plus répandu)

Version HTTP/2 approuvée en février 2015, publiée en mai 2015

Protocole HTTPS

- Version **sécurisée** du protocole HTTP

Combinaison de HTTP avec du chiffrement SSL ou TLS

- Également basée sur TCP, et utilise le **port 443**

- Vérification de l'**identité** du site web

Certificat d'authentification émis par une autorité tierce



Serveur Web

- **Serveur web** propose des ressources à un client

Sur base du protocole HTTP ou HTTPS

- Connexion **fermée par le serveur** après envoi de sa réponse

Par défaut dans HTTP/1.1, mais persistance dans HTTP/2

- Interrogation d'un serveur web avec un **client web**

Chrome, Firefox, Opera, Internet Explorer, Lynx...



NGINX



World Wide Web vs Internet

- Internet est une **infrastructure technique**

Permet d'interconnecter des machines sous forme de réseaux

- Le World Wide Web est un **service** construit sur Internet

Serveurs et clients web qui s'échangent des messages intelligibles

Protocole SMTP

- Protocole de **transmission de messages** électroniques (e-mails)

Transferts entre des relais pour acheminer les messages

- Protocole en **mode texte**, basé sur le protocole TCP

Basé sur le port 25 pour le serveur (ou 465 en sécurisé)

- Plusieurs versions dont la dernière définie en 2008

Extended SMTP décrit dans RFC 5321 est la plus répandue

Serveur d'e-mails

- Message Transfert Agent (MTA) est un **relais** d'e-mail
Transfert d'e-mails entre ordinateurs en mode client/serveur
- L'accès aux e-mails se fait à l'aide d'un **client de messagerie**
Apple Mail, Mozilla Thunderbird, Microsoft Outlook...



Internet des objets et cloud



Internet des objets (IoT) (1)

- Réseau d'**objets physiques** capables de s'échanger des données
Équipés d'électronique, senseurs, logiciel et connectivité réseau
- **Interaction** monde physique/systèmes informatisés
Monitoring, sondage, contrôle à distance
- **Échange de données** entre le monde réel et Internet (Web 3.0)
E-health, domotique, quantified self (podomètre...)

Internet des objets (IoT) (2)

- Des machines ont été équipées pour pouvoir être **connectées**

Support du protocole IP, puces RFID...

- **Différentes communications** possibles
 - Les objets sont connectés à des serveurs « *classiques* »
 - Les objets communiquent entre eux
- Quelques **exemples**
 - Une smartwatch communique avec un smartphone
 - Fonctions disponibles sur une voiture lorsque la clé est proche
 - ...

Système de systèmes

- Plusieurs **systèmes technologiques** nécessaires à l'IoT, dont

- 1 **Identification** unique d'un objet

- Code-barres, puce RFID...*

- 2 **Capteurs** qui recueillent de l'information dans l'environnement

- Luxmètre, capteur de proximité, accéléromètre, gyroscope...*

- 3 **Connexion** de systèmes entre eux

- Câble, Bluetooth, NFC, WiFi, Zigbee...*

- Plusieurs systèmes **communiquent et interagissent** entre eux

- **Radio-Frequency Identification (RFID)**

Méthode de mémorisation et récupération de données à distance

- **Puces RFID** contiennent un identifiant et des données

Composée d'une puce électronique et d'une petite antenne

- Communication avec la puce à partir d'un **lecteur**

Transfert d'énergie électromagnétique

- **Near Field Communication** (NFC)

Ensemble de protocoles de communication sans fil proche (10 cm)

- **Standardisation** des cartes de proximité utilisant la RFID

Combinaison de l'interface d'une carte à puce et un lecteur

- **Débit** de 106.212 ou 424 kbit/s et fréquence de 13.56 MHz

Utilisable uniquement sur de très courtes distances

Big data

- Explosion du **volume de données** générées sur le réseau

Accroissement exponentiel de cette quantité de données

- Plusieurs **nouvelles nécessités** apparaissent

- Capacités de stockage et partage
- Algorithmes de recherche et de traitement
- Visualisation

- Plusieurs **nouvelles sources** qui génèrent ces données

IoT, expériences scientifiques (LHC), réseaux sociaux...

Cloud computing

- **Exploitation de la puissance** de calcul ou de stockage distante

Utilisation de serveurs distants puissants à travers Internet

- Location par **tranche d'utilisation** (puissance, temps CPU...)

Grande souplesse et possibilité de gérer soi-même son serveur

- Fourni des **services sophistiqués** à exploiter à volonté

Puissance mise à disposition par un fournisseur via Internet

- **Accroissement** du nombre d'appareils connectés

Multiplication des appareils et expansion de l'IoT

- **Épuisement** du stock des adresses IPv4

Développement des adresse IPv6 (128 bits au lieu de 32 bits)

Crédits (1)

- <https://www.flickr.com/photos/mattjnewman/2520106295>
- <https://openclipart.org/detail/180746/tango-computer-green>
- <https://openclipart.org/detail/75181/speeding-envelope>
- <https://openclipart.org/detail/167055/wireless-router>
- <https://openclipart.org/detail/191831/wifi-icon>
- <https://openclipart.org/detail/191400/tablet>
- <https://openclipart.org/detail/19480/modern-touch-phone-mobile>
- <https://openclipart.org/detail/34933/architetto-unita-disco-rigido>
- <https://openclipart.org/detail/159709/laptop>
- <https://www.proximus.be/dam/cdn/sites/iportal/images/products/decoders/modem-b-box3/modem-b-box3.png>
- <http://www.broadbandbuyer.co.uk/images/products/linksys/wrt1900ac-10.png>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Ethernet_RJ45_connector_p1160054.jpg
- http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi#mediaviewer/File:Wi-Fi_Logo.svg
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#mediaviewer/File:BluetoothLogo.svg>
- <https://www.flickr.com/photos/teflon/3190769121>
- <https://openclipart.org/detail/171414/router>
- <https://www.flickr.com/photos/dskley/14711793077>
- <https://openclipart.org/detail/36565/tango-network-server>
- <https://www.flickr.com/photos/teflon/686327558>
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/HTTPS_icon.png
- <https://en.wikipedia.org/wiki/File:ASF-logo.svg>
- https://en.wikipedia.org/wiki/File:Nginx_logo.svg

Crédits (2)

- https://en.wikipedia.org/wiki/File:Zope_logo.png
- <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Postfix-logo.png>
- https://en.wikipedia.org/wiki/File:Microsoft_Exchange_logo.png
- <https://en.wikipedia.org/wiki/File:OpenSMTPD.png>
- <https://www.flickr.com/photos/publicworksgroup/14701341495>