

B201A Informatique appliquée

## Séance 8

# Comment Internet fonctionne-t-il ?

*Sébastien Combéfis, Quentin Lurkin*

*2017–2018*



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

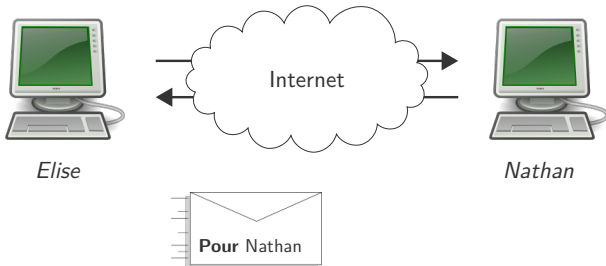
# Communiquer par Internet

- 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



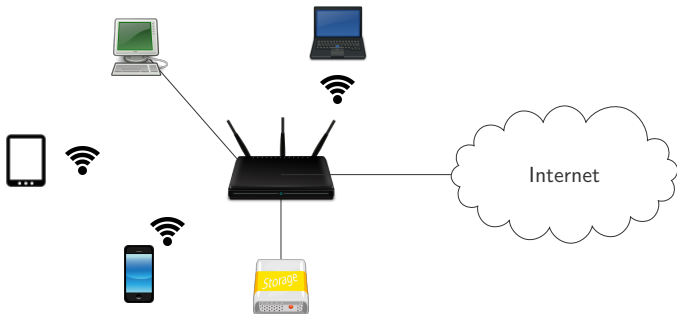
# Modem-routeur (1)

- 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)

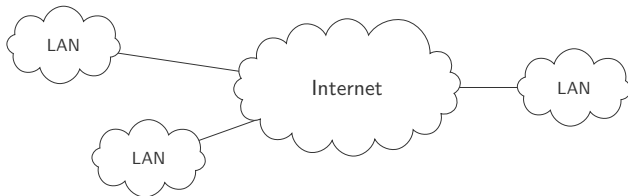
- Les machines d'un réseau local **communiquent directement**

*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**

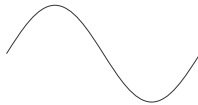




# Modem-routeur (2)

- **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

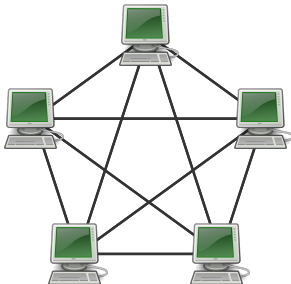


## Connexion directe (2)

- 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





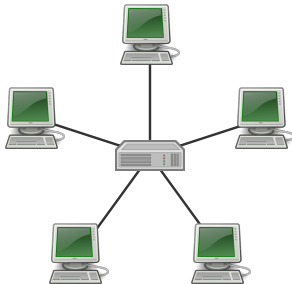
# Routeur

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

*Relaie des messages d'une source vers une destination*

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

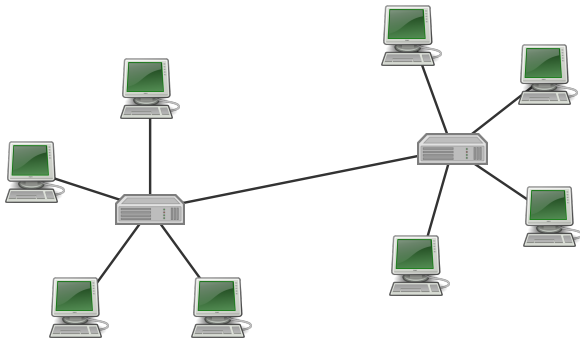
*Ne nécessite plus que  $N$  câbles pour relier  $N$  machines*



# Réseau de réseaux (1)

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

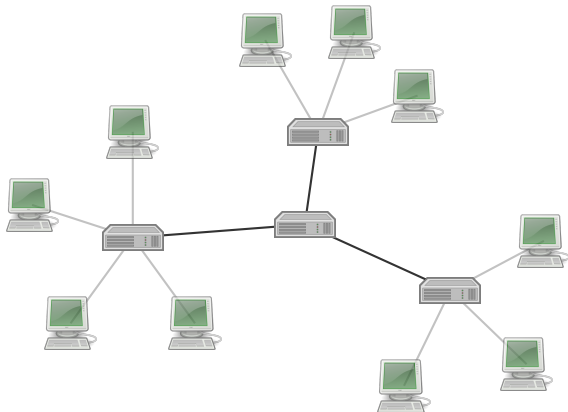
*Un routeur n'étant finalement qu'un ordinateur*



# Réseau de réseaux (2)

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

*En connectant des routeurs ensemble avec un routeur central*



# Adresse

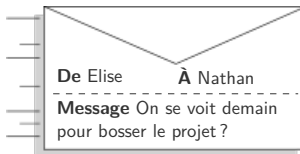
- Toute machine est identifiée par une **adresse unique**

*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



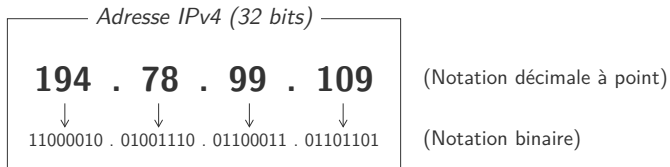
# Adresse IP

- **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®...*



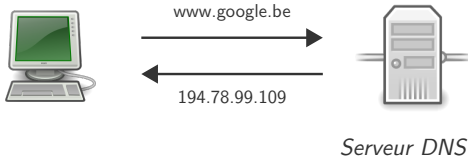
# Nom de domaine (DN)

- 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

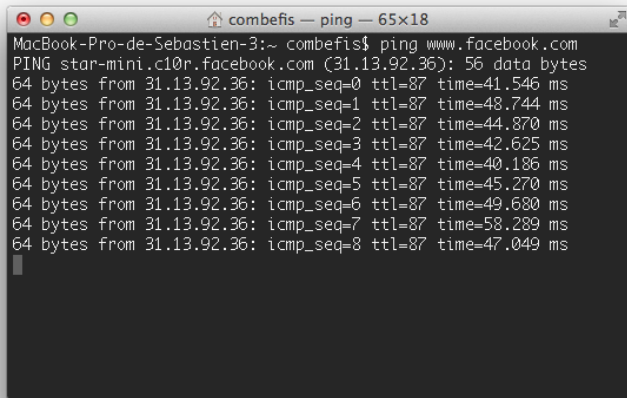
*Interrogation d'un serveur de nom de domaine (DNS)*



# Outil ping

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

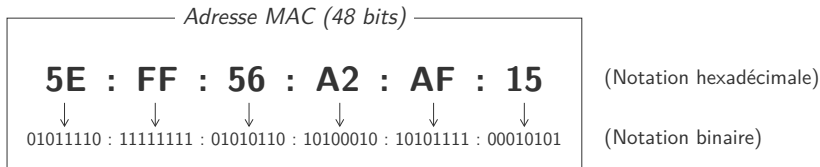
*Permet également de mesurer le temps de réponse*

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 nine successful ping responses, each showing 56 data bytes, 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*





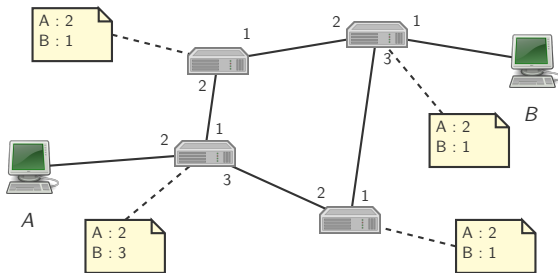
# Routage (1)

- 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*



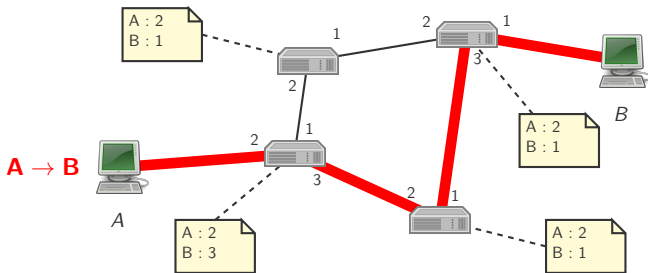
# Routage (1)

- 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*



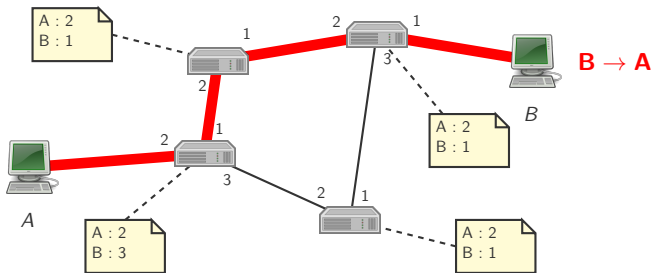
# Routage (1)

- 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...*

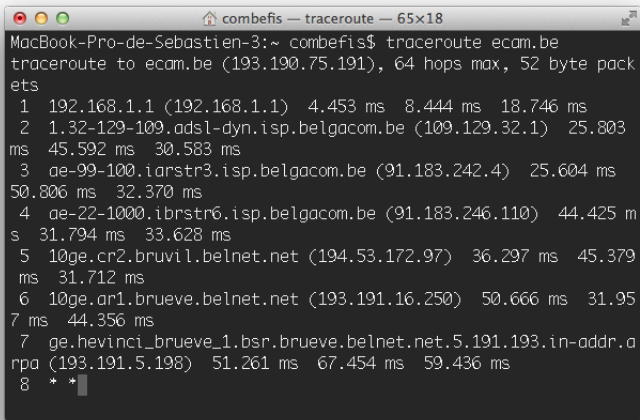
- Modem-routeur dirige les messages **sur le LAN ou vers le WAN**

*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

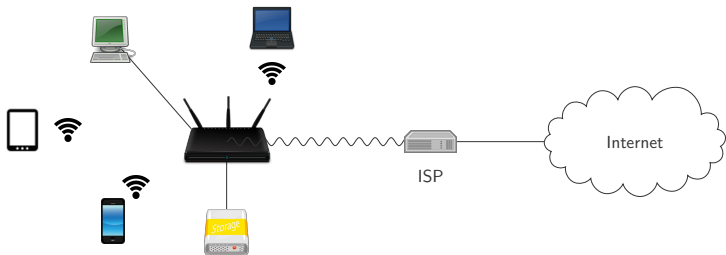
# Fournisseur d'accès à Internet (ISP)

- 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



# 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

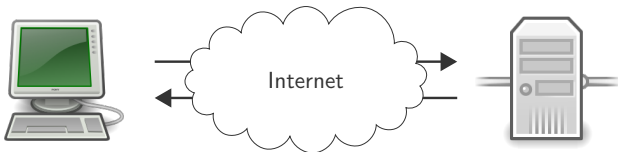
*Contient adresse IP de la passerelle par défaut, du serveur DNS...*

- 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://openclipart.org/detail/180746/tango-computer-green>
- <https://openclipart.org/detail/75181/speeding-envelope>
- <https://www.flickr.com/photos/mattjnewman/2520106295>
- <https://openclipart.org/detail/191831/wifi-icon>
- <https://openclipart.org/detail/167055/wireless-router>
- <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](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/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://openclipart.org/detail/36565/tango-network-server>
- <https://www.flickr.com/photos/dskley/14711793077>
- <https://www.flickr.com/photos/teflon/686327558>
- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/HTTPS\\_icon.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e5/HTTPS_icon.png)

# Crédits (2)

- <https://en.wikipedia.org/wiki/File:ASF-logo.svg>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Nginx\\_logo.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Nginx_logo.svg)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Zope\\_logo.png](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:Microsoft_Exchange_logo.png)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/File:OpenSMTPD.png>
- <https://www.flickr.com/photos/publicworksgroup/14701341495>