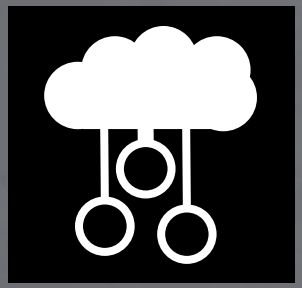
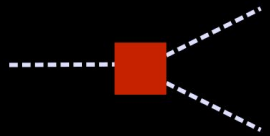


Internet of Things

architectures et technologies

janvier 2021 - master *Big Data* - Telecom Paristech

Chapitre #2
Protocoles



?

“Communiquer”?

Communiquer

= rendre commun, partager, transmettre

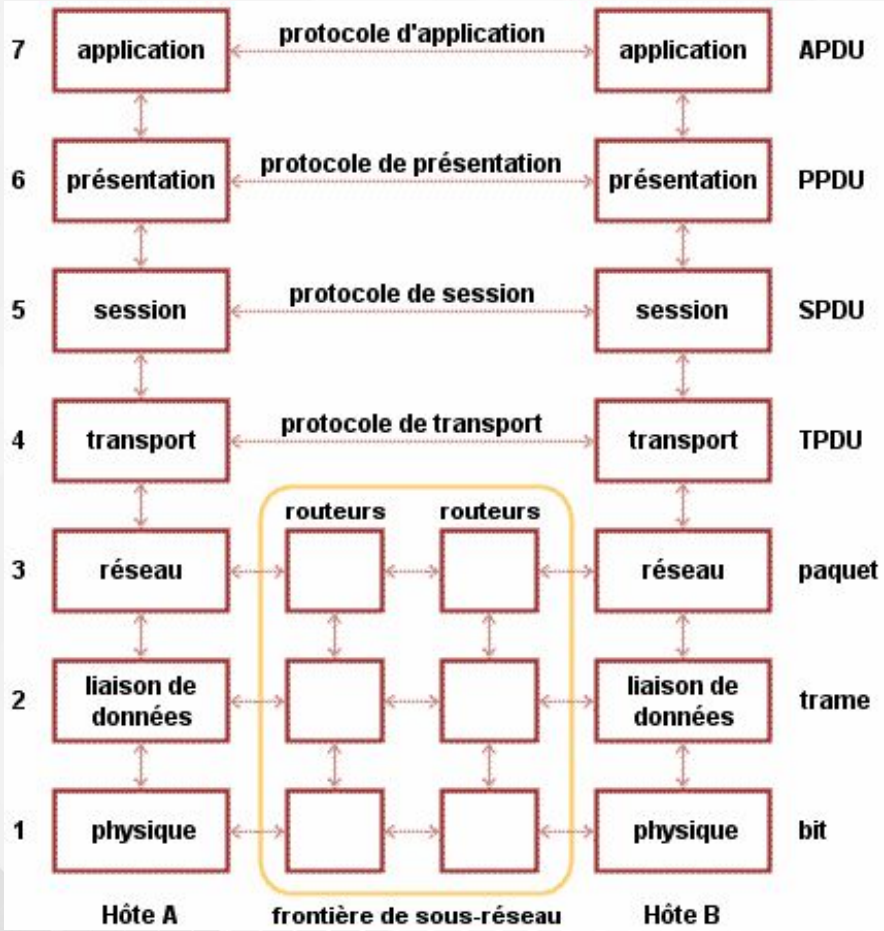
Techniquement, il s'agit d'un échange d'information, uni ou bi-directionnel, au travers d'un « **medium** » accessible aux 2+ interlocuteurs.

Principes

modèle de référence: OSI

Modèle OSI (‘70)

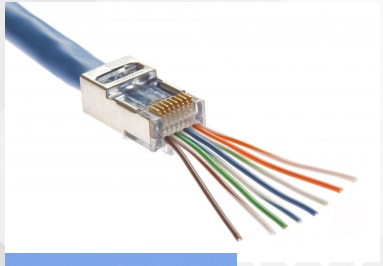
s’applique imparfaitement à la réalité, mais donne une liste exhaustive des concepts existants.

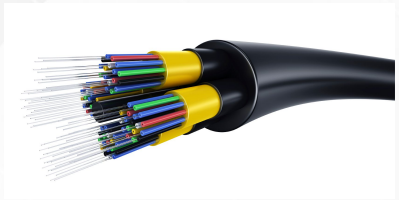


Ref. http://www.frameip.com/osi/

OSI #1 - lien physique

- lien filaire





- onde radio

- lumière

- onde mécanique

OSI #2 - liaison de données

Fonctions:

- découpage du flux en “trames”
- correction/détection d’erreurs
- acquittement de transmission
- dédoublonnage

Exemple: Ethernet, RS-232, protocoles radio…

OSI #3 - couche “réseau”

=> comment “router” l’information dans un réseau multi-sauts

Fonctions:

gestion de sous-réseaux,

routages des trames/paquets

Exemple: IP

OSI #4 - transport

Fonctions:

garantir la délivrance,

optimisation des ressources réseau,

contrôle de flux

Exemple: TCP

OSI #5 - session

Fonctions:

- interface applicative,
- traduction adresse logique / adresse physique,
- coopération entre interlocuteurs de bout en bout

Exemples: DNS, session web (cookies), VoIP, jeu en ligne...

OSI #6 - présentation

Fonctions:

- syntax et sémantique de l'information échangée,
- encryption,
- compression,
- etc.

Exemples: Content-Types HTTP, HTML/CSS

OSI #7 - application

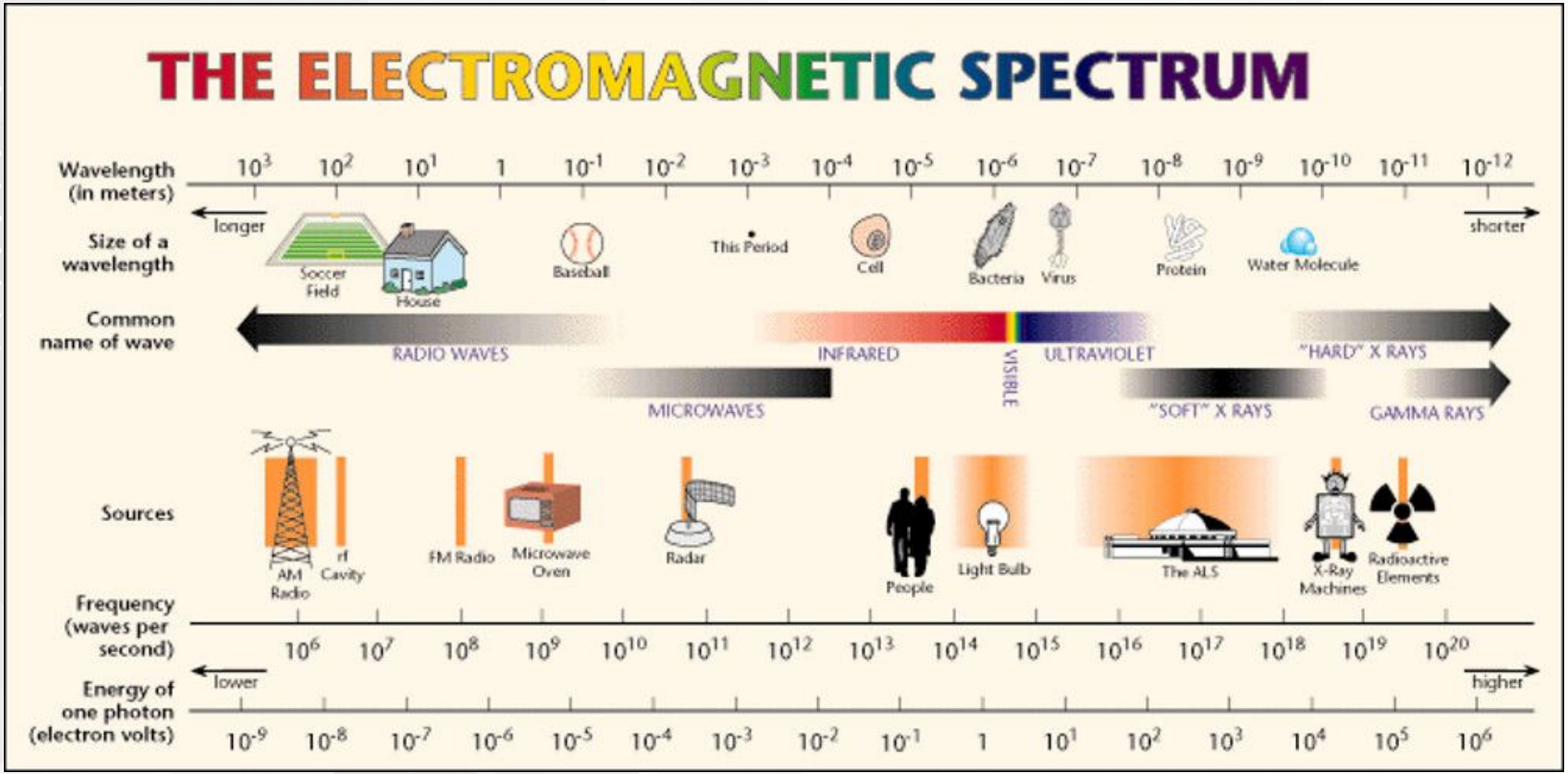
Fonctions:

- interaction avec l'utilisateur final,
- expose le service offert

Exemples: application web (webmail, réseau social…)

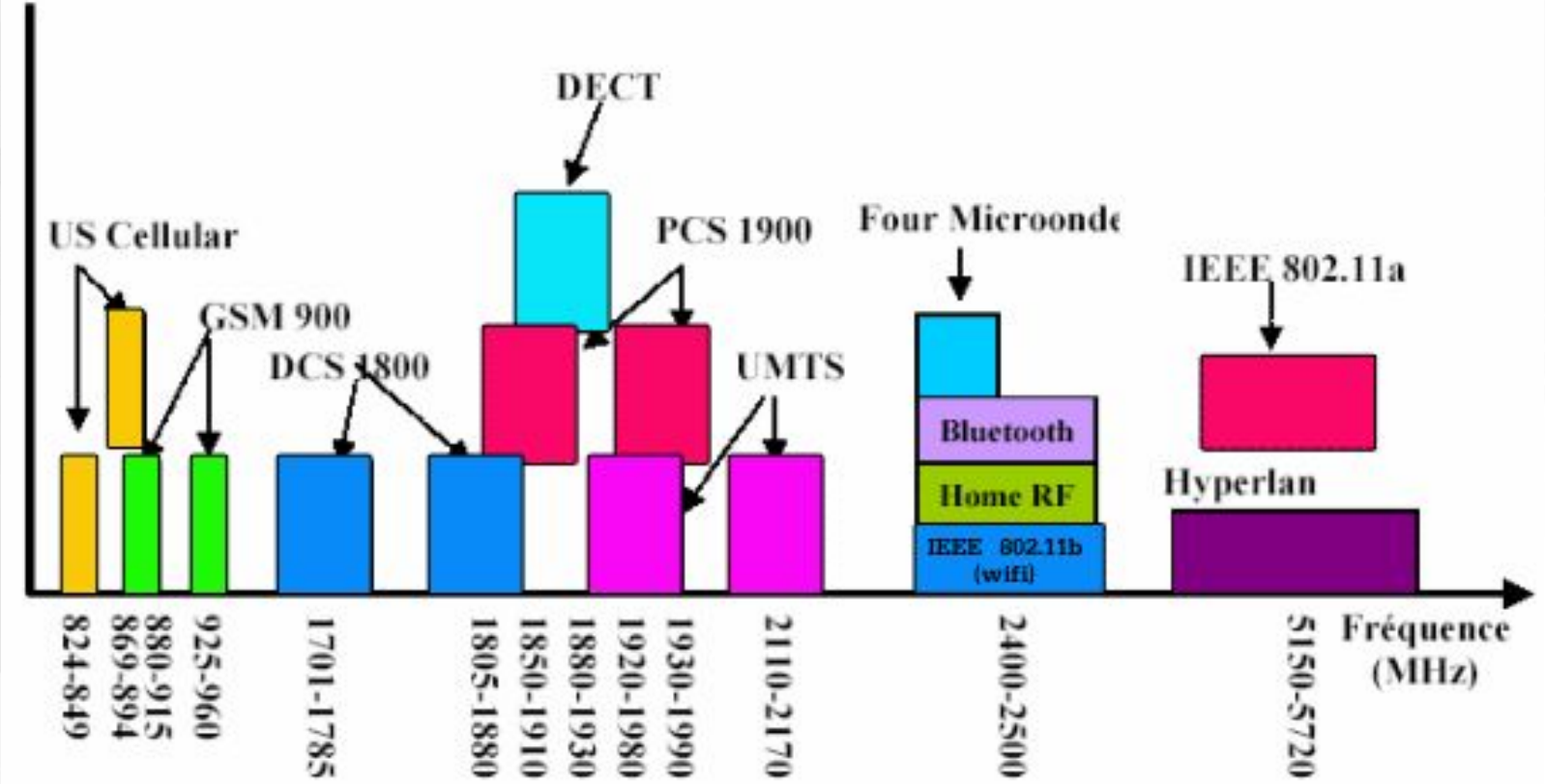
Protocoles Radio

Les bandes de fréquence



Les bandes de fréquence

Les bandes de fréquence



Bandes “industrielles, scientifiques et médicales” (ISM)

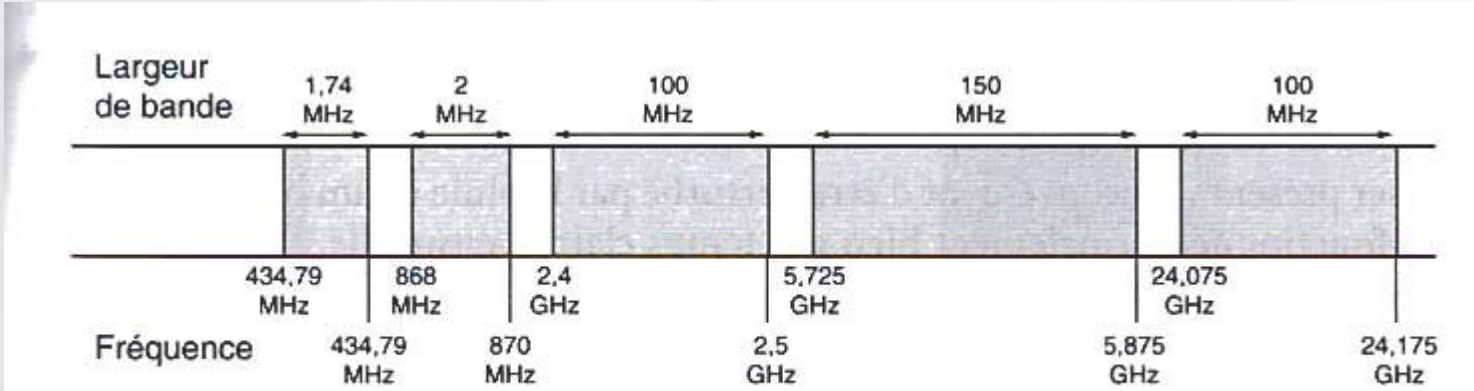


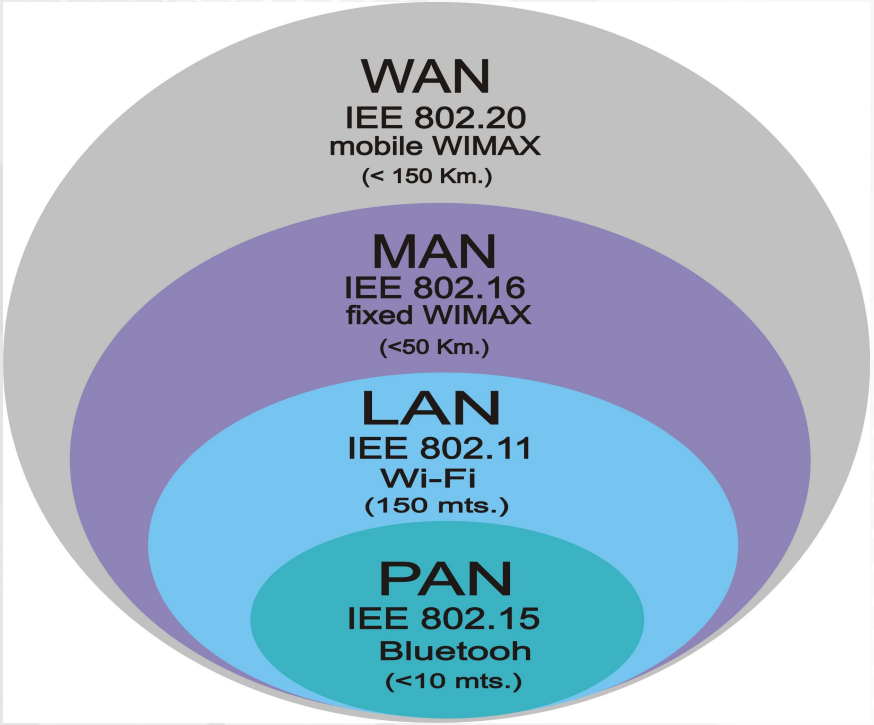
Figure 2.13 • Répartition des bandes ISM en France et en Europe.

(radio-communications => directive RED, émission <500mW)

- 26 Mhz: téléphonie sans fil CT0
- 433 Mhz: domotique, télécommandes (voitures, portails), portiers vidéo, alarmes, jouets...
- 868 MHz: EnOcean, Z-Wave, Sigfox, LoRa
- 2,4 GHz: Bluetooth, Wifi, vidéo-surveillance, transmetteurs audio/video (max 10mW)
- 5,4 GHz: video “FPV” (25 mW)

PAN / LAN / WAN

PAN / LAN / WAN ...



Échelle: Région / pays...

Echelle
quartier/ville

Echelle: pièce / batiment

Réseau "personnel"

ref: http://sahinerbay.com/2016/06/04/lan-man-wan/

Protocoles Radio

ref: http://www.inov360.com/blog/reseaux-sim-less-le-nouvel-eldorado-du-m2m-et-de-linternet-des-objets-2/

Technologies à portée très courte (PAN)

PAN - lien série / bus

UART / I^2C / SPI (Serial Peripheral Interface) : échanges internes à l'équipement

RS-232 / RS-422… : liaisons série asynchrones

USB = Universal Serial Bus

bus CAN (Controller Area Network): automobile / industrie

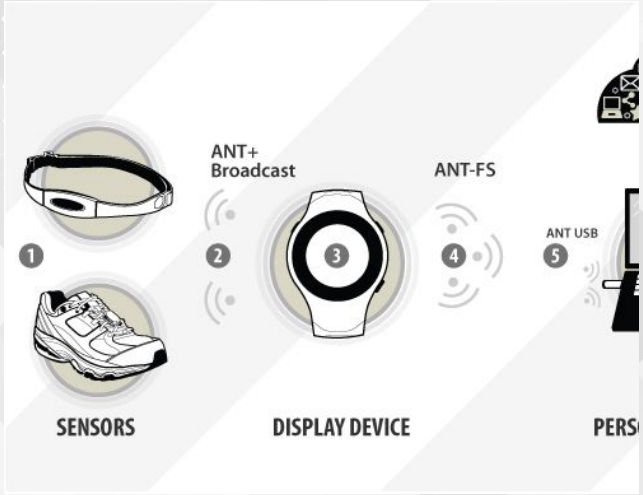
ModBus / Bacnet

PAN - NFC (Near Field Communications)

ou CCP = communication en champ proche

fréquence	13,56 MHz
portée	10 cm (1,5 m?)
débit	106 / 212 / 424 kbit/s
création	norme ISO/CEI 14443 (2004, Sony & Philips > NFC forum)
usages	carte puce sans contact, tags / badge RFID, synchronoisation courte portée (vCard…)
propriétés	mode carte, lecteur (tags) ou pair à pair courte portée> sécurité fonctionnelle tag passif ou actif

PAN - ANT / ANT+



fréquence	2.4Ghz
portée	30m
débit	20 kbits/sec
versions	1.0 - 4.1, “Low Energy”
création	Ericsson, 1994
usages	fitness, sport heart-monitor
propriétés	protocole propriétaire, basse consommation (22mA en réception, 13mA en émission), broadcast, ack, point à point, étoile, mesh (jusqu’à 65k noeuds) chiffrement AES 128

PAN - infra-rouge

- Consumer IR : héritage HiFi / TV
  - S-Link (Sony)
  - RC-5 / RC-6 (Philips)
  - NEC
- Infrared Data Association - groupement industriel (‘90)
  - standard utilisé par PDAs, désormais désuet
    - IrLAP: Infrared Link Access Protocol
    - IrCOMM (=serial)
    - OBEX (object Exchange: vCard etc.)
    - etc.

PAN - bluetooth

Classe	Puissance	Portée
1	100 mW (20 dBm)	100 mètres
2	2,5 mW (4 dBm)	10 à 20 mètres
3	1 mW (0 dBm)	Quelques mètres

fréquence	2.4Ghz
portée	5m à 100m
débit	100 kbits/sec - 2Mbits/sec
versions	1.0 - 5 , “Low Energy”
création	Ericsson, 1994
usages	téléphonie/audio, communication très locale (accessoire personnel)
coût chip	~3$

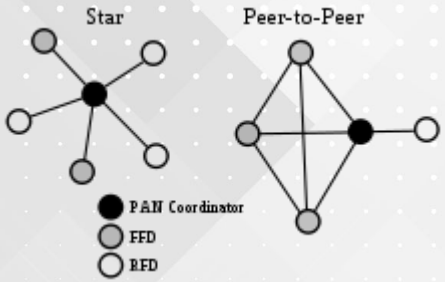
Technologies à portée locale (LAN)

DECT

(Digital Enhanced Cordless Telecom.)

fréquence	1880 - 1920 Mhz (réservé en EU puis US)
portée	10m
débit	32 kbits/sec par channel*slot
création	1988-1992, ETSI
usages	téléphonie sans fil, baby monitoring
propriétés	FDMA, TDMA jusqu'à 120 comm. simultanées chiffrement optionnel différents profiles (allant jusqu'au roaming et lien GSM) émission 10mW

IEEE 802.15.4



fréquence	ISM : 868 Mhz (EU), 915 MHz (US) ou 2,4 GHz
débit	20 - 250 kbits/sec
création	IEEE, 2003
usages	base de nombreux protocoles domotique (ANT, EnOcean, …)
propriétés	optimisé pour basse conso et bas coût CSMA/CA link quality energy detection couche MAC topologie étoile / mesh

Zigbee

basé sur 802.15.4
propriété Zigbee Alliance
spécifications libres

fréquence	ISM: 868 Mhz (europe) ou 2.4Ghz
portée	10m
débit	20 - 250 kbits/sec
création	2004, ZigBee Alliance
usages	domotique
propriétés	simple, jusqu'à 65k noeuds, fiable, routage réactif, au-dessus de IEEE 802.15.4, peu sécurisé? profiles spécialisés: home automation, remote control, smart energy...
coût chip	~1$

6LOWPAN

6LowPan = UDP/IPv6 over 802.15.4

principal problème: MTU
(IPv6: 1280 bytes,
802.15.4: 127 bytes)

- various optimizations
  - >> payload = 33 bytes per frame
- header & payload compression
- neighbor discovery
- fragmentation / reassembly

fréquence	ISM : 868 Mhz (EU), 915 MHz (US) ou 2,4 GHz
création	IETF, 2007
débit	20 - 250 kbps
usages	capteur contraint connecté à Internet!
propriétés	idem 802.15.4 / adressage IP

THREAD

basé sur 6LowPAN (IPv6)

“Thread Group”: ARM, NXP, Nest (Google), OSRAM, Samsung, Qualcomm, etc. Apple.

IP-adressable, AES encryption

fréquence	ISM : 868 Mhz (EU), 915 MHz (US) ou 2,4 GHz
création	“Thread Group”, 2014
débit	20 - 250 kbps
usages	domotique
propriétés	idem 802.15.4 + accès à Internet / adressage IP

THREAD

Connected Home over IP (CHIP)

open-source
multi-technologies (Thread, Zigbee & BLE)

Amazon + Apple + Google
(+ Zigbee Alliance)

fréquence	dépend transport (BLE, Zigbee, Thread)
création	dec, 2019
usages	domotique / home assistant
propriétés	interopérabilité sur usages domotiques (TBC)

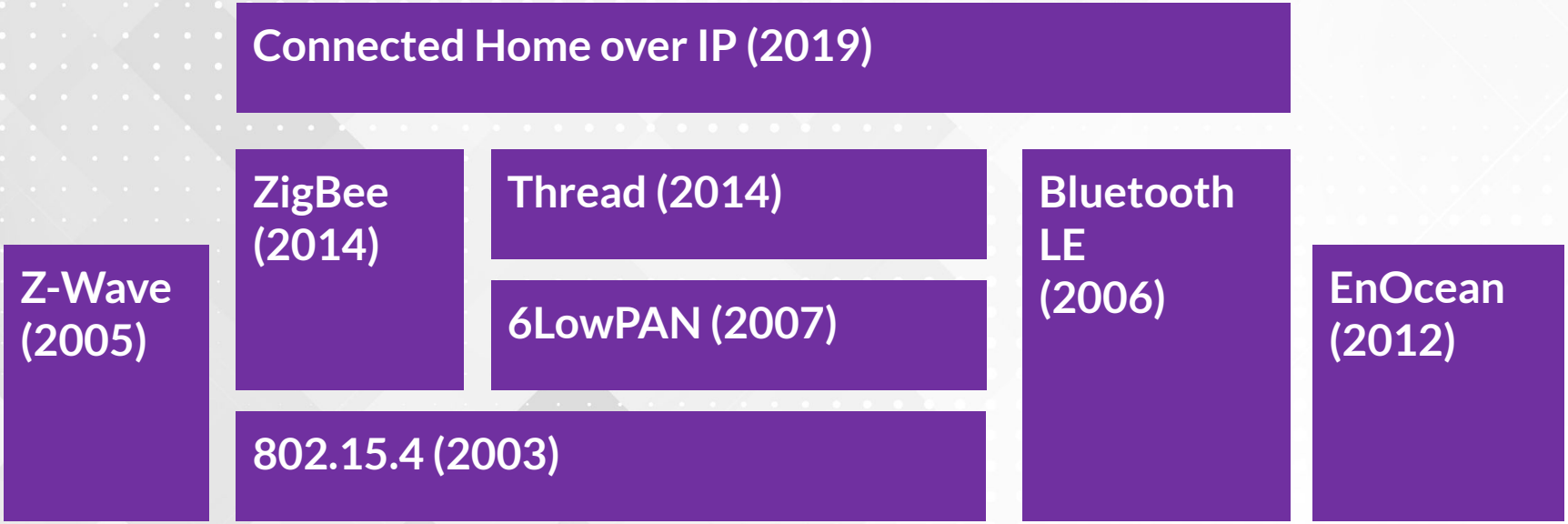
Z-Wave / ZWave+

fréquence	ISM 868 Mhz (Europe)
portée	~50m
débit	<40 kbits/sec
création	Zen-Sys (start up danoise, maintenant Sigma Designs), 2005
usages	domotique (leader?)
propriétés	protocole propriétaire (un seul fondeur) certification via alliance ZWave réseau mesh (jusqu'à 232), sécurité relative

EnOcean

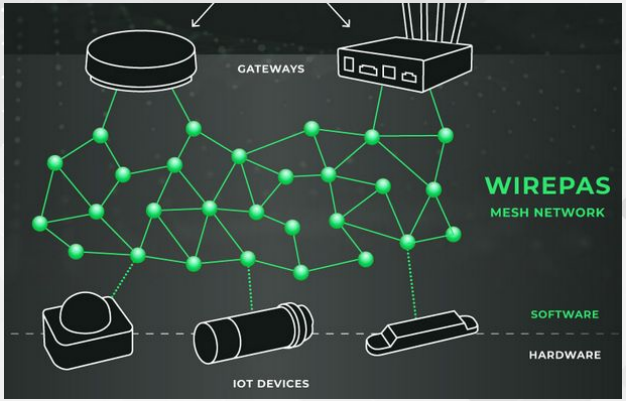
fréquence	ISM 868 Mhz (Europe)
portée	~30m en intérieur, jusqu'à 300m en extérieur
débit	125 kbits/sec (trame: 14 bytes)
création	EnOcean devient standard international ISO/IEC en 2012
usages	interrupteur sans file sans pile
propriétés	ultra-simple, ultra-basse consommation

Protocoles Domotique



Wirepas Mesh

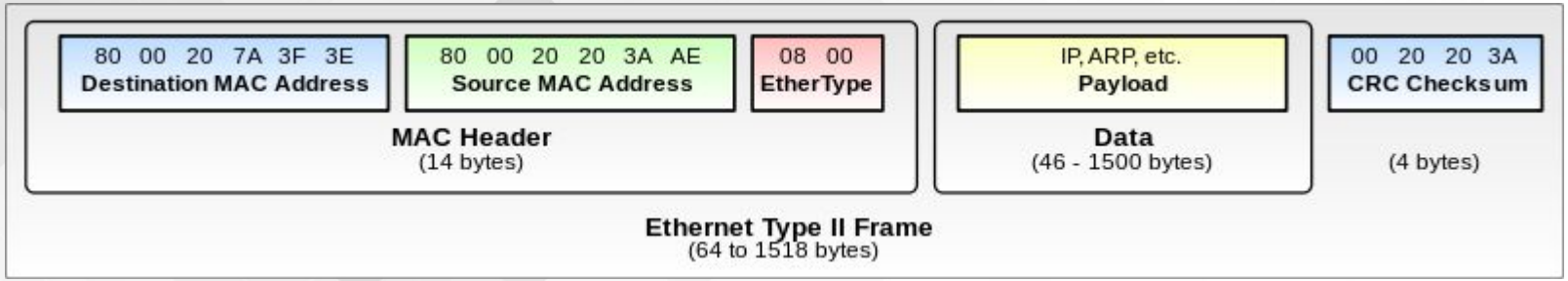
BLE customisé avec techno propriétaires pour fonction MESH hyper-scalable basse conso.



fréquence	2.4GHz (BLE)
portée	~50m
débit	1 Mbps
création	Zen-Sys (start up danoise, maintenant Sigma Designs), 2005
usages	domotique, smart lighting, IIoT
propriétés	mesh, scalabilité++, reliability, encrypted (AES), low energy

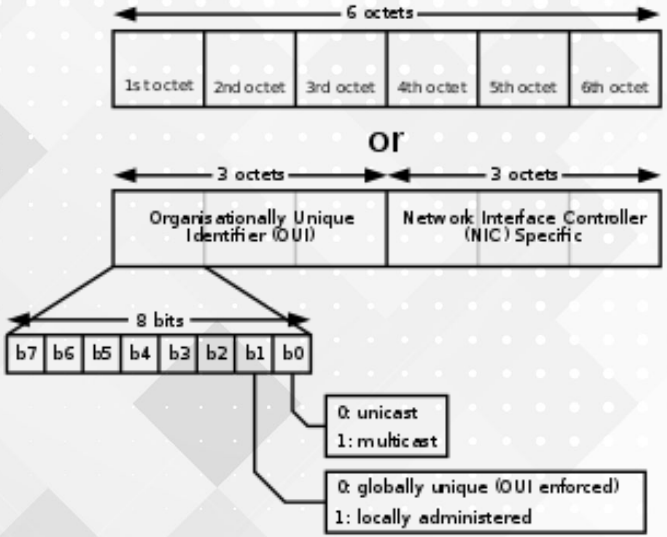
Ethernet

débit	fonction du câble (10BASE-T… 10GBASE-T) jusqu'à 10Gb/sec
création	1973, Xerox PARC Robert METCALFE, David BOGGS
IEEE	IEEE 802.3



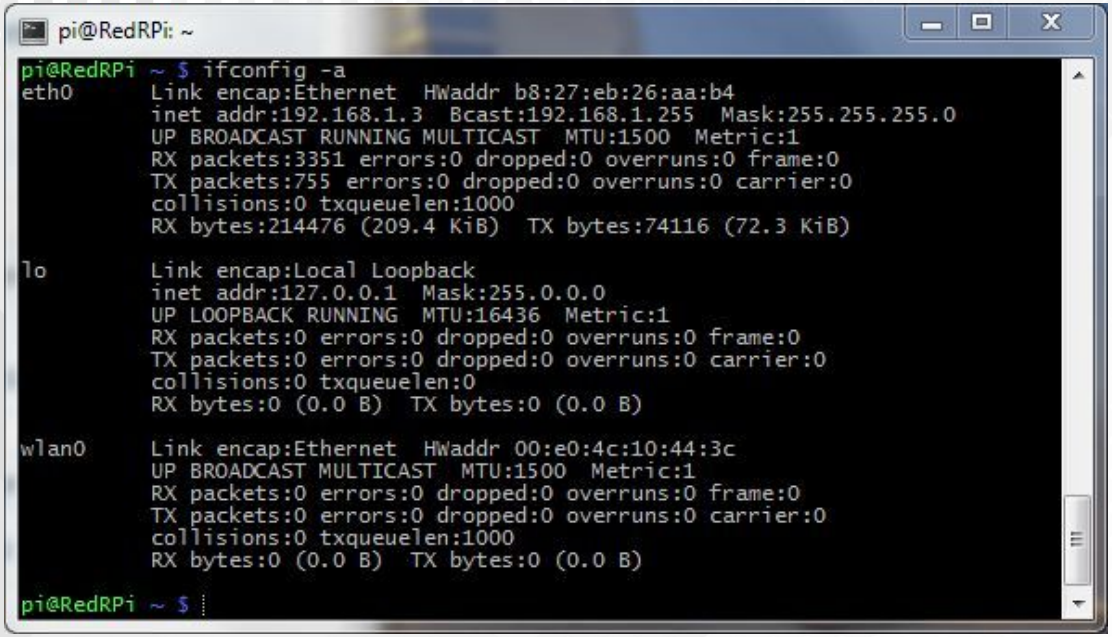
Ethernet

Un équipement réseau Ethernet est identifiable par son adresse “MAC” (Media Access Control): un identifiant physique sur 6 octets défini par le fabricant de la carte.



Structure d’une adresse MAC

(source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Adresse_MAC)



MAC ethernet = b8:27:eb:26:aa:b4

avec b8:27:eb => Raspberry Pi Foundation

MAC Wifi = 00:e0:4c:10:44:3C

avec 00:e0:4c => REALTEK SEMICONDUCTOR CORP.

Privacy: MAC Randomization

Starting in Android 8.0, Android devices use random MAC addresses when probing for new networks while not currently associated to a network.

In Android 9, a developer option can be enabled (it is **disabled** by default) to cause the device to use a randomized MAC address when connecting to a Wi-Fi network. A different randomized MAC address is used per SSID.

MAC randomization prevents listeners from using MAC addresses to build a history of device activity, thus increasing user privacy.

Additionally, MAC addresses are randomized as part of Wi-Fi Aware and Wi-Fi RTT operations.

Implementation

To implement MAC randomization on your device:

1. Work with a Wi-Fi chip vendor to implement the `IWifiStaIface.setMacAddress()` HAL method.
    - The AOSP reference implementation brings the interface down, changes the MAC address, and brings the interface back up. This reference implementation behavior may not work with certain chip vendors.
2. Set `config_wifi_support_connected_mac_randomization` to **true** in the Settings `config.xml` (this can be done in a device custom overlay).
    - This flag is used to control whether the *Connected MAC Randomization* toggle is shown in the developer option of the reference Settings implementation. If **true**, the toggle is shown; if **false**, the toggle is not shown.
3. Test your implementation using the methods described in Validation.

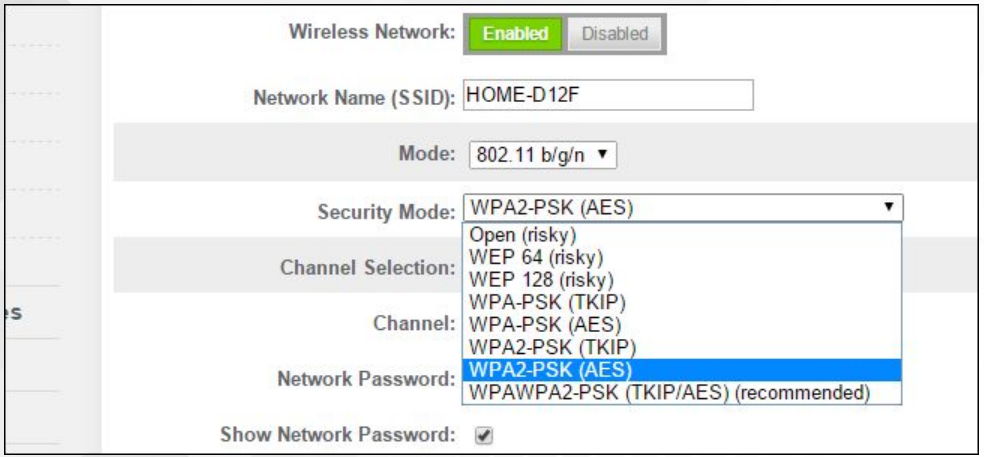
WiFi (IEEE 802.11)

fréquence	2,4 Ghz (5Ghz)
portée	plusieurs mètres
débit	(b) 6 Mbits/sec, (a, g) 25 Mbits/sec, (n) 600 Mbits/ses (ac) 1,3 Gbits/sec
création	IEEE, 1997
IEEE	IEEE 802.11
propriétés	modes: infrastructure, ad hoc, bridge, range-extender encryption: WEP, WPA/WPA2

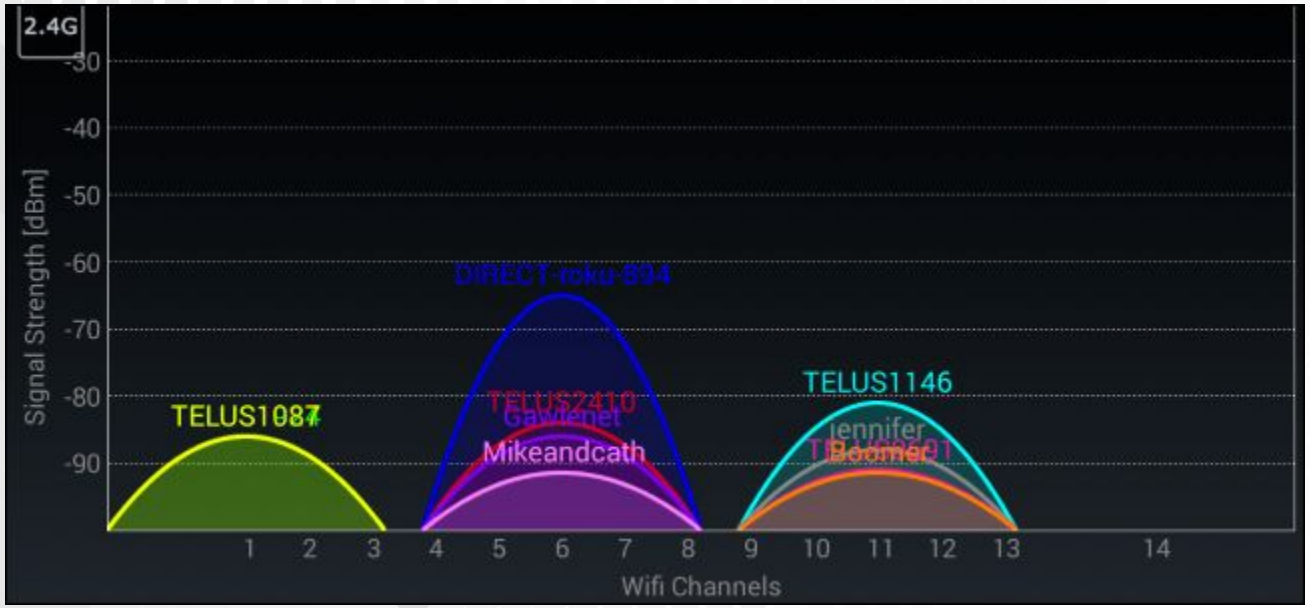
WiFi

Une “passerelle” Wifi est identifiée par un “SSID” qui peut être “broadcasté” de manière répétée, permettant sa découverte.

WEP et WPA sont des mécaniques d’autorisation et de chiffrement des échanges WiFi.

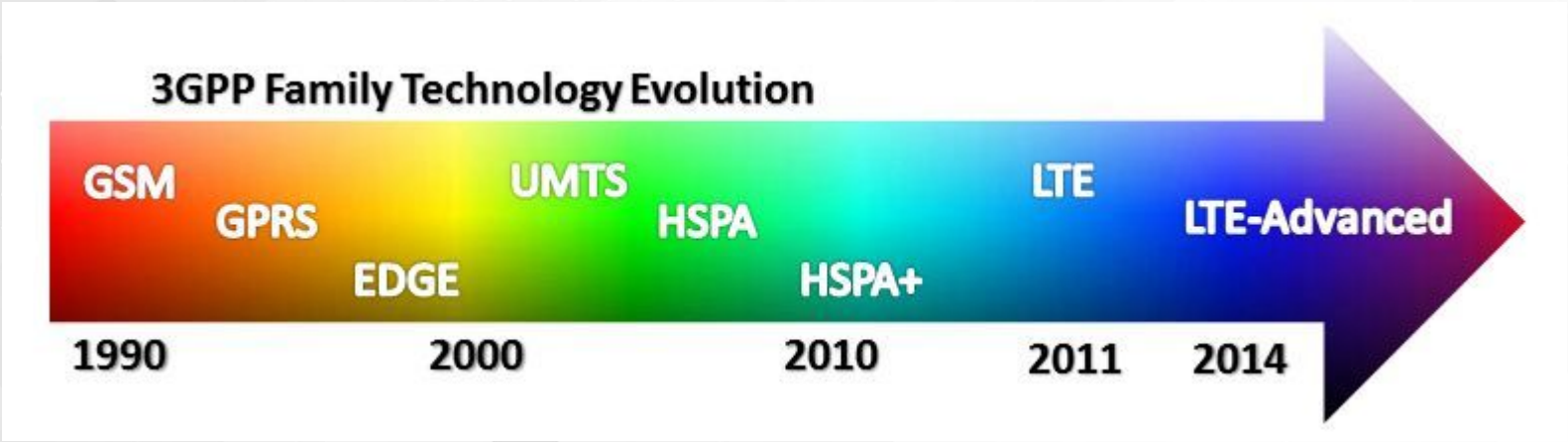


WiFi


2.4G
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
Signal Strength [dBm]
DIRECT-roku-894
TELUS1087
TELUS2410
Gawlenet
Mikeandcath
TELUS1146
jennifer
Boomer
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
Wifi Channels

Technologies à large portée (WAN)

GSM / GPRS / 3G / 4G...



source:
http://blog.thiga.fr/innovation-digitale/mobile-mieux-comprendre-les-frequences-et-les-technologies/

GSM / GPRS / 3G / 4G…

‘70 – ‘80	**Radiocom 2000** (analogique) / **Nordic Mobile Telephone** (NMT) (numérique)	1G
1990	**GSM:** tout numérique, standard européen (ETSI) puis mondial (3GPP) interopérabilité et roaming	2G
2000	**General Packet Radio Service (GPRS)** : connexion de données (data)	
2003	**EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) optimisation data (compression)	
2004	**UMTS** voix et data en simultané + meilleur bande passante	3G
2005 / 2006 (2008 / 2010)	**HSDPA** (H) / **HSPA** (H+)	3.5 G
2008 / 2009	**LTE** (Long Term Evolution) / **LTE Avdanced** (“4G”) standard mondial (3GPP), 100% paquets	4G

Evolution réseaux cellulaire pour l'IoT

Enjeux: optimiser bande passante / consommation énergétique
+ focalisation sur échanges data

LTE cat M1 (3gpp)
évolution LTE pour IoT

NB-IoT (Huawei)
protocole IoT compatible avec gateways LTE Huawei

CG-GSM:
évolution 2G pour IoT

5G IoT ???

WAN - Sigfox

Techno / Réseau privé (licensing)
couverture internationale
“LPWAN” (long range, low power)

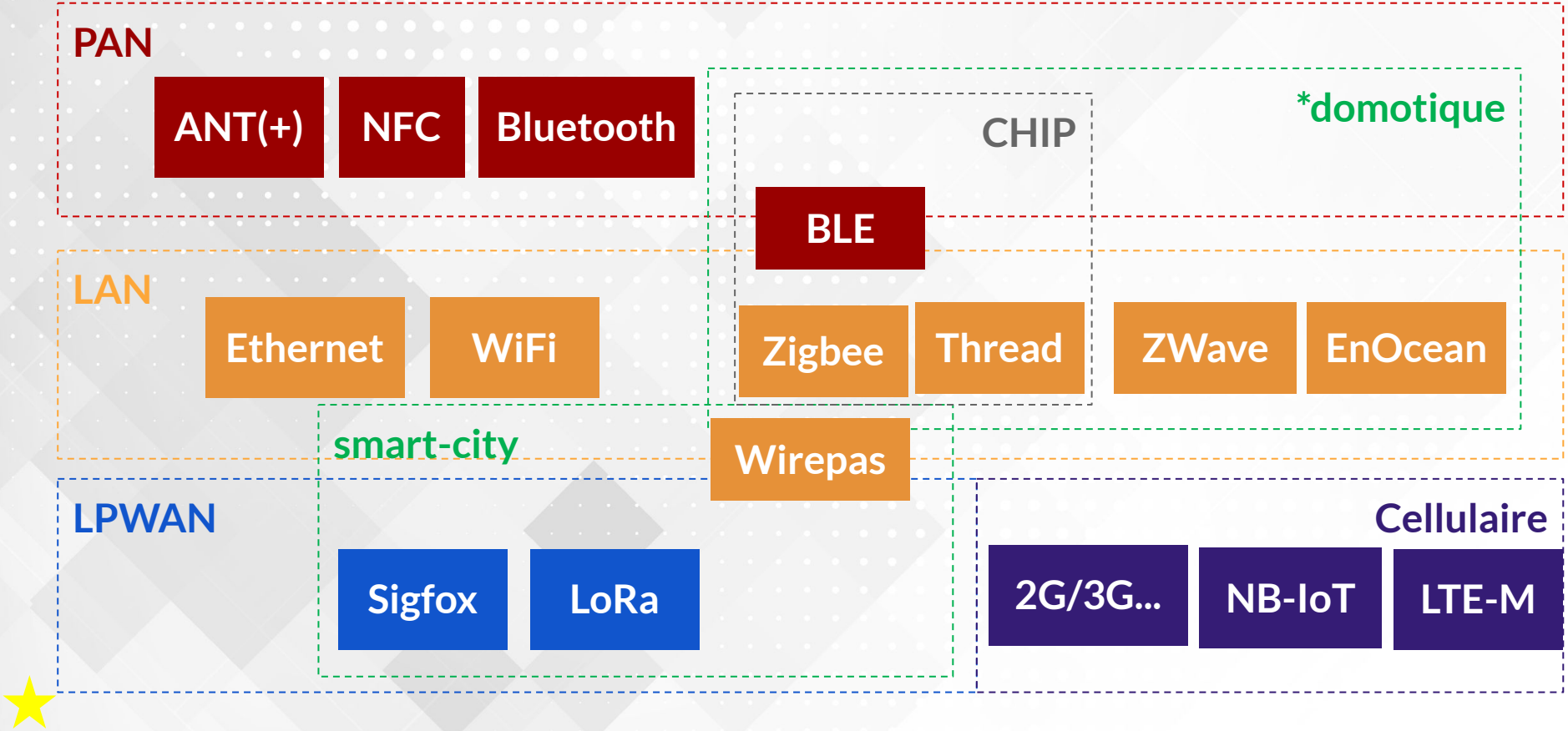
fréquence	ISM: 868MHz (EU)
création	Sigfox (FR), 2010
débit	< 100 bit/s
usages	télé-relève, transport
propriétés	propriétaire low power long range (30 - 50km) bi-directionnel ultra narrow band jusqu’à récemment unidirectionnel (=> émission multiples et pas de garantie)

WAN - LoRa (LoRaWAN)

concurrent Sigfox,
standardisation via LoRa Alliance,
spec ouverte mais un seul fondeur,
réseaux privés ou publiques

fréquence	ISM: 868MHz (EU)
création	Cycléo (FR) puis Semtech, 2012
débit	0,3 - 50 kbit/s
usages	télé-relève, smart city...
propriétés	low power long range (1 - 15km) communication large bande réseaux privés ou publique (basestation très peu chère) sécurisé (double crypto) bi-directionnel / ack

Vue d'ensemble - protocoles significatifs & familles

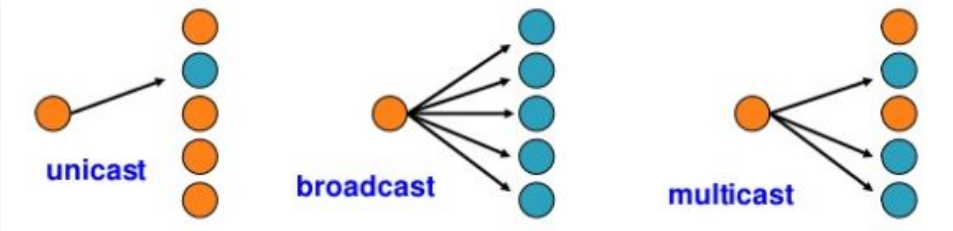


Protocoles Internet

Internet Protocol (IP)

Protocole standard (RFCs) - a permis la naissance d'Internet!
Adresse uniquement le routage d'un paquet (= "datagram")

Information de source / destination
Fragmentation / réassemblage
Unicast / Multicast / Broadcast

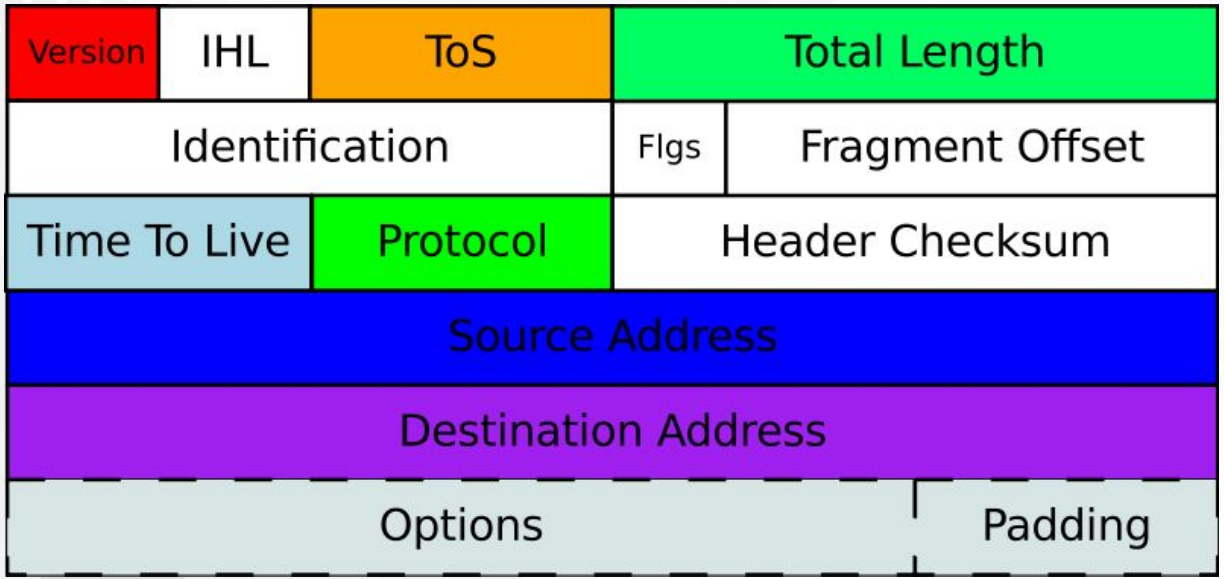


1980 - IPv4:
adresses 32 bits

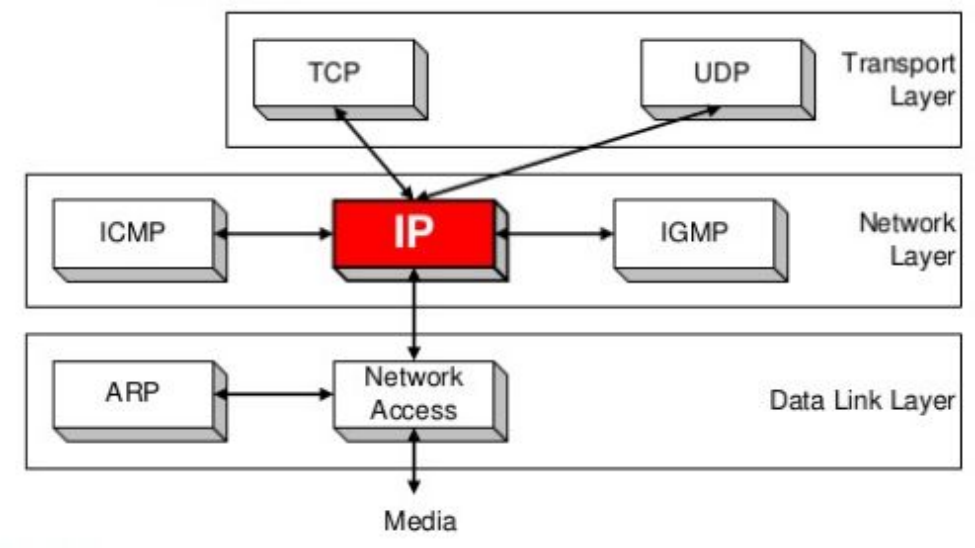
1998 - IPv6 (IETF):
adresses 128 bits, intègre IPSec, optimisations pour réseaux privés

Internet Protocol (IP)

header IPv4:



Internet Protocol (IP)



- **ICMP(Internet Control Message Protocol)**:
  signalisation liée à IP (ex: ping, notification de problème de transmission…)
- **IGMP (Internet Group Message Protocol)**:
  gestion souscriptions multicase
- **ARP (Address Resolution Protocol)**:
  pour résolution MAC / IP IPv4
  (en IPv6 : NDP = Neighbor Discovery Protocol)

Internet Protocol (IP)

Reserved address blocks

Range	Description	Reference
0.0.0.0/8	Current network (only valid as source address)	RFC 6890
10.0.0.0/8	Private network	RFC 1918
100.64.0.0/10	Shared Address Space	RFC 6598
127.0.0.0/8	Loopback	RFC 6890
169.254.0.0/16	Link-local	RFC 3927
172.16.0.0/12	Private network	RFC 1918
192.0.0.0/24	IETF Protocol Assignments	RFC 6890
192.0.2.0/24	TEST-NET-1, documentation and examples	RFC 5737
192.88.99.0/24	IPv6 to IPv4 relay (includes 2002::/16)	RFC 3068
192.168.0.0/16	Private network	RFC 1918
198.18.0.0/15	Network benchmark tests	RFC 2544
198.51.100.0/24	TEST-NET-2, documentation and examples	RFC 5737
203.0.113.0/24	TEST-NET-3, documentation and examples	RFC 5737
224.0.0.0/4	IP multicast (former Class D network)	RFC 5771
240.0.0.0/4	Reserved (former Class E network)	RFC 1700
255.255.255.255	Broadcast	RFC 919

Internet Protocol (IP)

```
 % ifconfig

wlp3s0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>  mtu 1500
     inet 192.168.43.43  netmask 255.255.255.0  broadcast 192.168.43.255
     inet6 fe80::f425:7aeb:24cd:6539  prefixlen 64  scopeid 0x20<link>
     ether e0:94:67:75:5b:9d  txqueuelen 1000  (Ethernet)
     RX packets 430830  bytes 537633029 (537.6 MB)
     RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
     TX packets 112598  bytes 14531015 (14.5 MB)
     TX errors 0  dropped 0 overruns 0  carrier 0  collisions 0
```

Internet Protocol (IP)

```
 % traceroute google.fr

traceroute to google.fr (216.58.206.227), 64 hops max
  1   192.168.43.1  1,397ms  1,146ms  1,267ms
  2   10.125.116.5  33,115ms  41,063ms  40,006ms
  3   10.125.120.28  33,564ms  36,529ms  40,065ms
  4   10.125.120.50  41,584ms  89.89.100.226  30,213ms  38,649ms
  5   89.89.100.226  39,677ms  212.194.171.148  48,507ms  89.89.100.226  29,912ms
  6   212.194.171.148  48,818ms  41,455ms  38,826ms
  7   *  *  212.194.171.153  54,967ms
  8   *  209.85.148.0  36,251ms  28,879ms
  9   209.85.148.0  28,171ms  108.170.252.227  26,019ms  23,790ms
 10   108.170.252.226  27,502ms  64.233.175.243  32,163ms  36,535ms
 11   216.239.35.201  35,001ms  72.14.238.52  33,994ms  35,852ms
 12   108.170.235.98  34,871ms  108.170.244.225  33,287ms  34,869ms
 13   108.170.244.161  38,731ms  216.239.48.147  37,382ms  33,764ms
 14   216.239.48.151  36,393ms  216.58.206.227  34,924ms  216.239.48.151  32,685ms
```

UDP (User Datagram Protocol)

Fine couche au dessus d'IP:

- port source/cible,
- somme de contrôle additionnelle

Port Source (16 bits)	Port Destination (16 bits)
Longueur (16 bits)	Somme de contrôle (16 bits)
Données (longueur variable)	

Usages: NTP, DNS, temps-réel / faible latence (VoIP, jeux), CoAP

=> de nouveaux tendances pour optimiser latence (QUIC / draft HTTP 3)

TCP (Transmission Control Protocol)

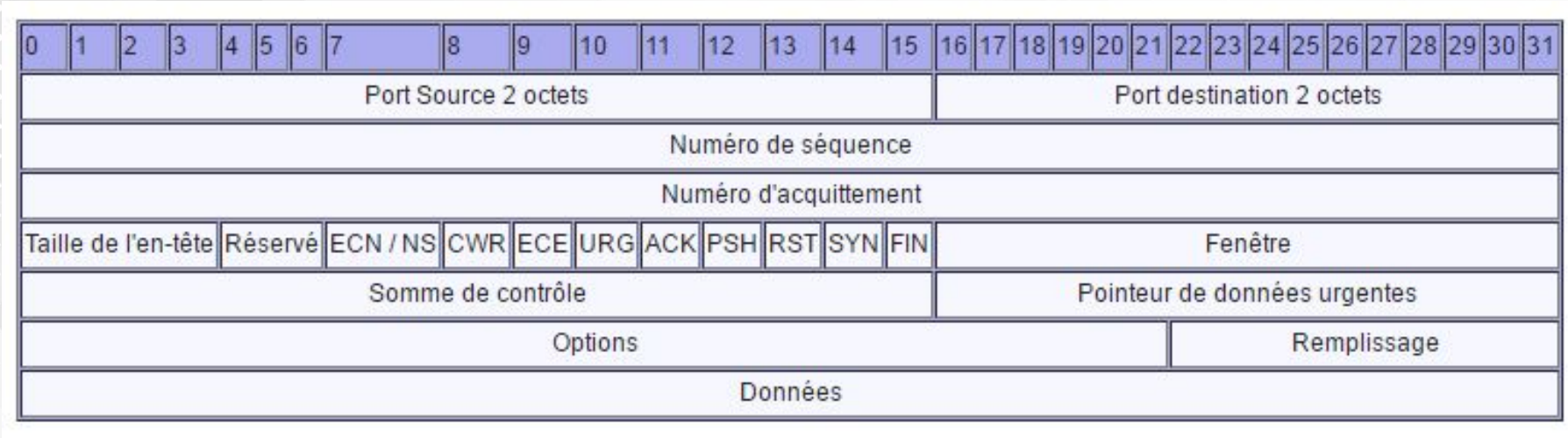
le plus répandu au dessus de IP.

- protocole connecté (couche "session")
- ré-ordonnancement de paquets (“segments”)
- détection de perte / reprise
- contrôle de flux (windowing)

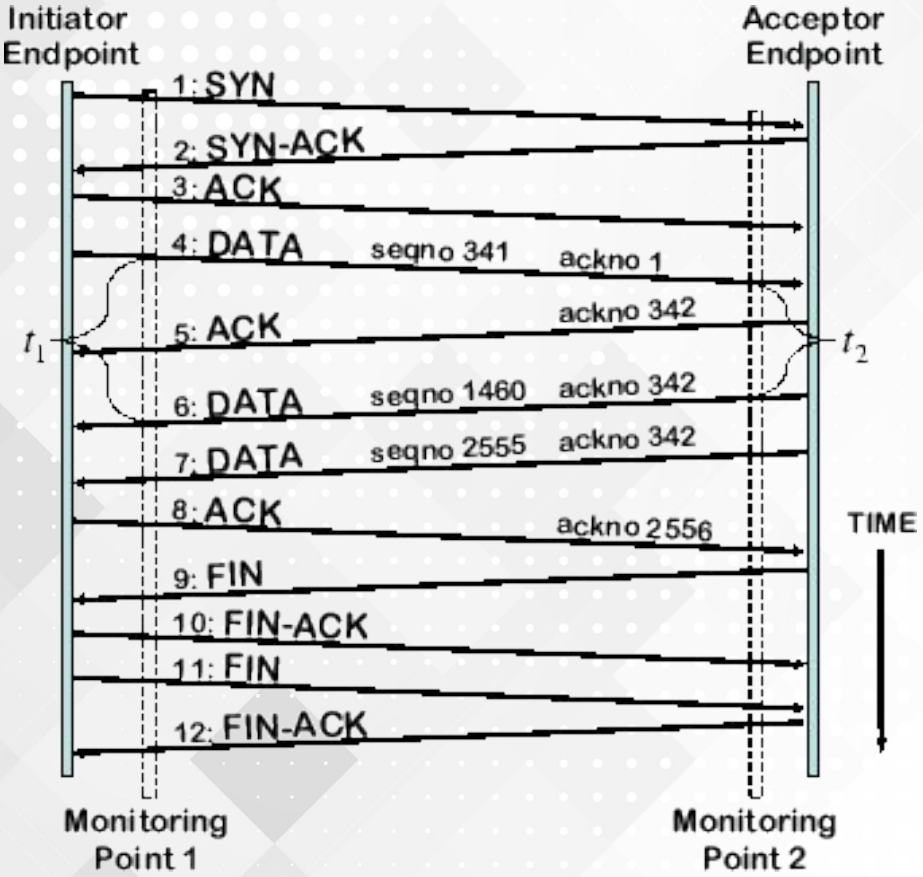
Usages: protocoles haut niveau session (Telnet, SSH, HTTP, FTP, SMTP…)

TCP

Format d'une trame:



TCP



Source: http://www.cs.unc.edu/~fhernand/diss-html/img88.png

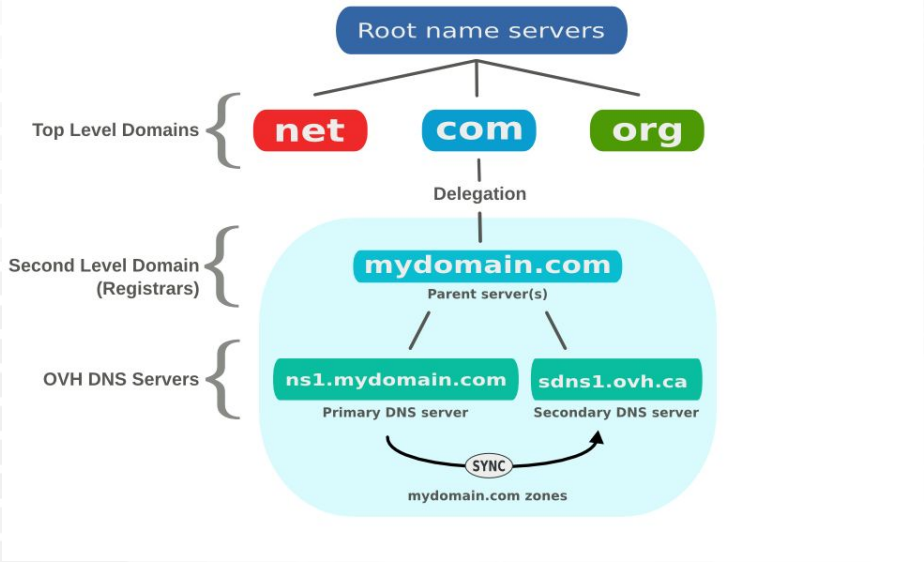
DNS protocol

“Domain Name System”, 1983.
bâti sur UDP (ou TCP)

permet d’interroger un inventaire pour obtenir des informations sur un nom de domaine:

- adresse(s) IP (par type de service: mail, etc.)
- DNS secondaires
- info sécurité
- info contact

serveurs racine: ICANN



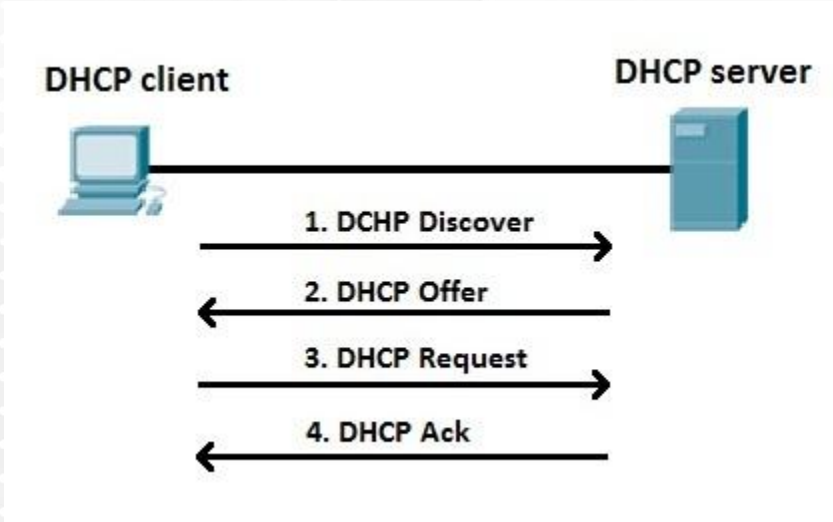
DHCP

"Dynamic Host Configuration Protocol”

Configuration IP dynamique:

- attribution d’une IP
- IP passerelle
- …

Emission / réception en Broadcast IP.



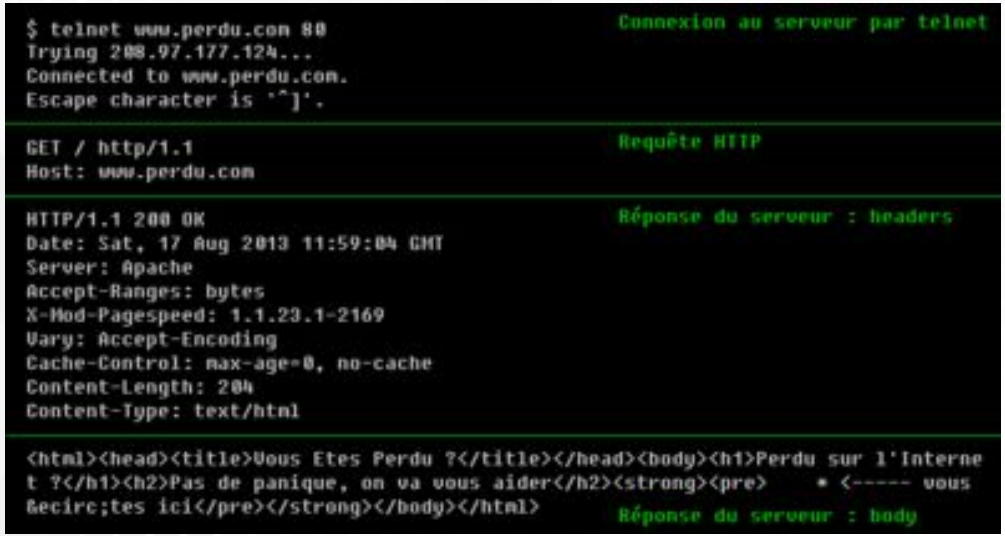
HTTP

“HyperText Transfer Protocol”
le protocole du “web”
(1991 - Tim Berners-Lee)

Requête / réponse au dessus de TCP/IP.

Verbe (GET/POST…) + URL.
Headers

Version 2 (2015):
échanges asynchrones



CoAP

“Constrained Application Protocol” équivalent HTTP compact sur UDP (ou SMS ou TCP)

Authentification via DTLS.

Mécanisme de Pub/Sub.

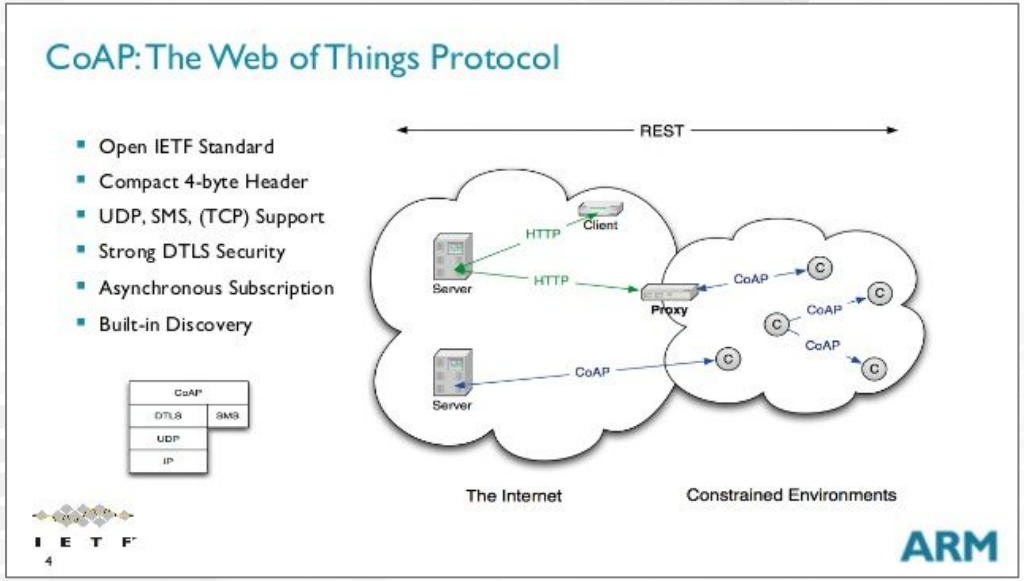


Table 3 Message Format

0			1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7	8	9 0 1 2	3 4 5 6 7	8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1	
Ver	T	OC	Code	MessageID	
Token (if any, TKL bytes)…					
Options (if any)…					
Payload (if any)…					

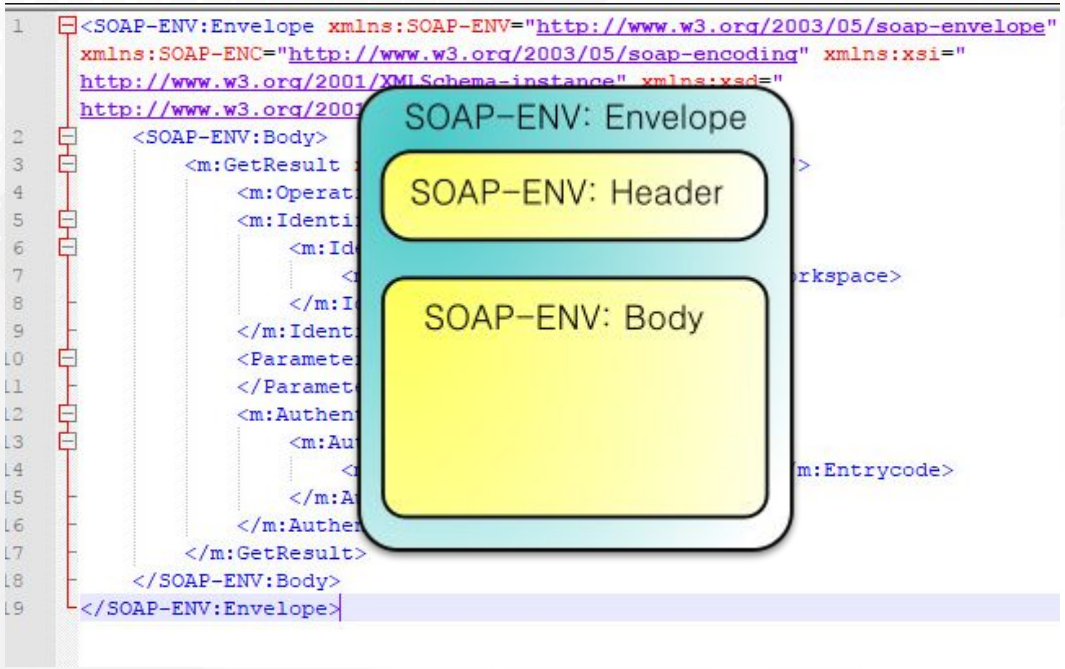
source: http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/coap/

SOAP

“Simple Object Access Protocole”

Protocol RPC (remote procedure call) via échanges XML sur HTTP.

WSDL (WebService Description Language):
contrat d’interface pour WebService SOAP.

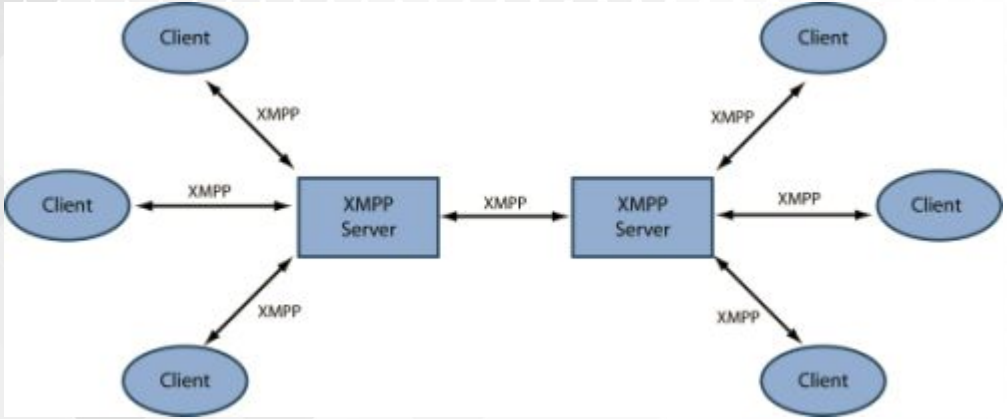


XMPP

“eXtensible Messaging and Presence Protocole”

Protocole de messaging, XML sur TCP.

(Jabber, repris par IETF)



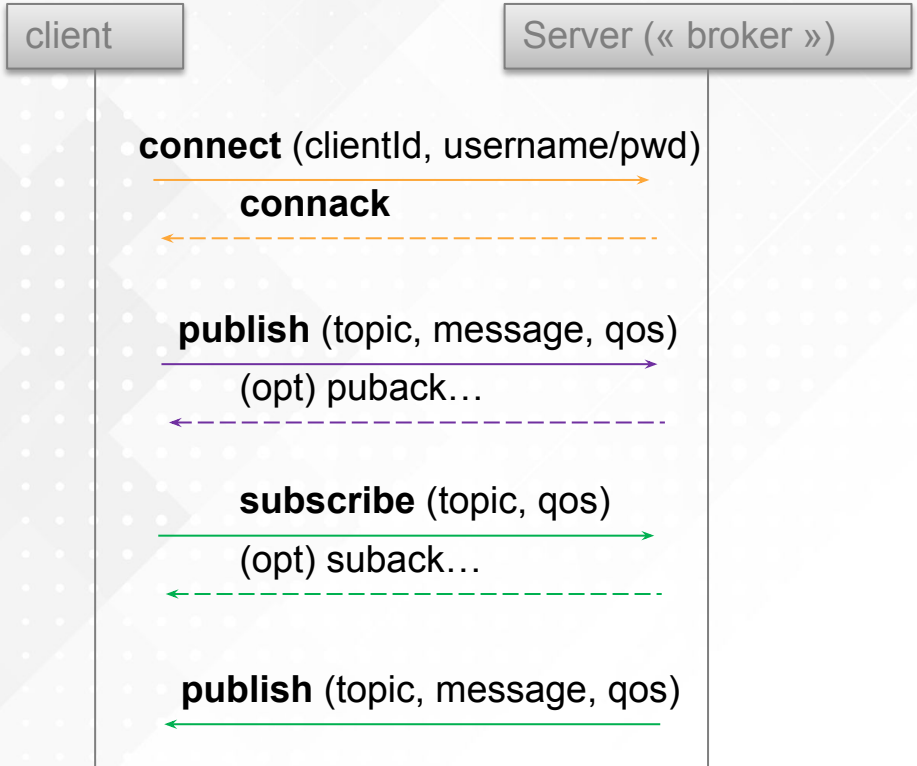
MQTT

“MQ Telemetry Protocol”

Protocole publish/subscribe au dessus de TCP/IP.

authentification clients

contrôle fin de qos de publication (niveau d’acquittement)



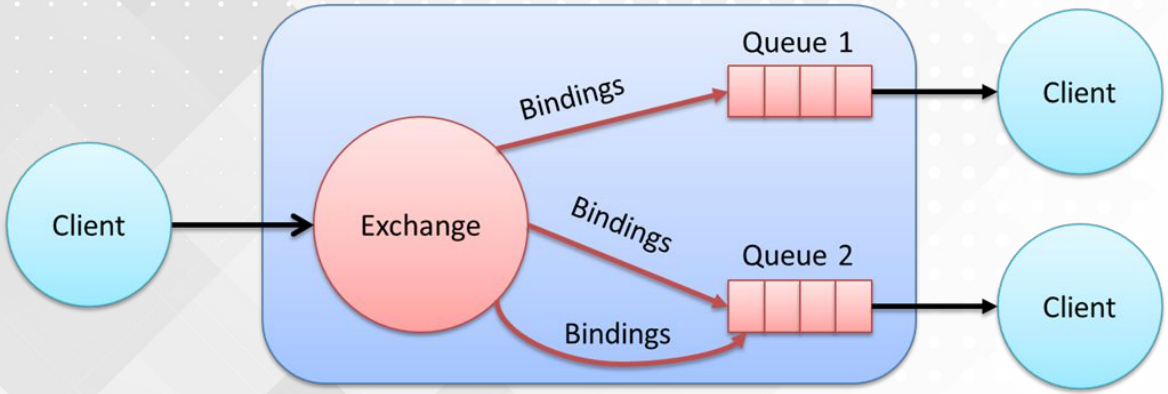
AMQP

"Advanced Message Queue Protocol"

Publish/Subscribe (et admin de router/topics) via TCP/IP.

Porté par consortium bancaire / IT(JP Morgan) depuis 2003.

Plusieurs version incompatibles (0.9.1, 1.0)

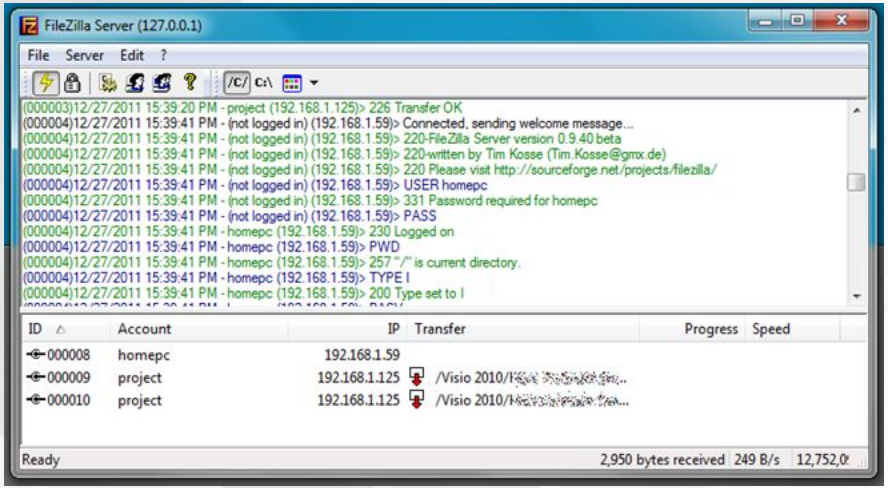


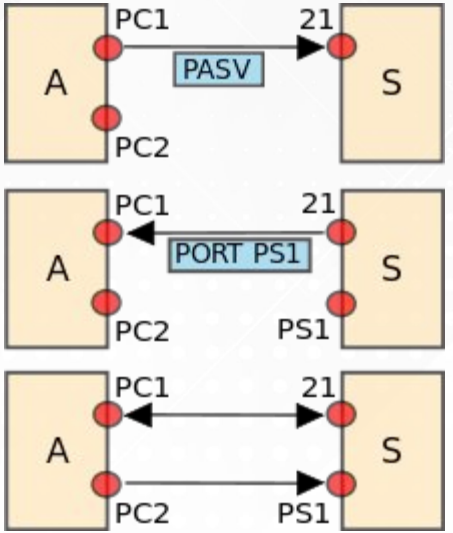
FTP

“File Transfer Protocol”

Partage (list, lecture, suppression) et transfert de fichiers.

Double connections TCP: contrôle et transfert.





Autres protocoles notables

- BitTorrent: partage de fichiers
- SSH ("secure shell"): terminal à distance
- SCP ("secure copy") : transfert de fichier (basé sur SSH)
- NTP (network time protocol) : synchronisation d'horloges
- SMTP / POP / IMAP : messagerie électronique (email)
- …

Autres protocoles notables

- BitTorrent: partage de fichiers
- SSH ("secure shell"): terminal à distance
- SCP ("secure copy") : transfert de fichier (basé sur SSH)
- NTP (network time protocol) : synchronisation d'horloges
- SMTP / POP / IMAP : messagerie électronique (email)
- …

Formats de données

Transport vs Format vs Sémantique

Beaucoup de protocoles dits “**de transports**” - ne spécifient pas la représentation des données.
ex: HTTP, AMQP, MQTT…

Il faut alors spécifier pour un usage donné (une “API”) le format des données:

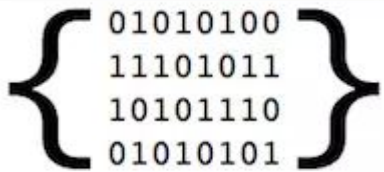
- comment est structurée/représentée la donnée?
  => “**format**”
- que signifie la donnée?
  => “**sémantique**”

Quelques formats courants - textuels

JSON	**(JavaScript Object Notation)** très en vogue (écosystème web)	{ “foo”: true, “bar”: [1, 2, “ok”] }
YAML	**(Yet Another Markup Language)** orienté humain (commentaires, espaces/sauts de lignes plutôt que ponctuation) courant pour fichiers config (kubernetes, docker...)	# Config: foo: true bar: - 1 - 2
XML	**(Extensible Markup Language)** orienté machines (validation, meta-description) et contenus riches désuet (hors intégration SI via SOAP)	<foo><bar param=”12”/></foo>
CSV	**(Comma-separated values)** format simple pour données tabulaires	foo,true,12 bar,false,13

Quelques formats courants - binaires

Protocol Buffers	technologie libre Google.
	encodage binaire compact à partir d'un fichier "définition" partagé.
	Utilisé pour gRPC (protobuf/http2)
		(spec:)
		`message Point {`
		`  required int32 x = 1;`
		`  required int32 y = 2;`
		`  optional string label = 3;`
		`}`

BSON	**(Binary JSON)** format inventé pour stockage/protocole de la base de données MongoDB, optimisé parcours/disque	
Message Pack	équivalent JSON binaire, plus compact/équivalent que BSON	

Plus anecdotique...

LAN/WAN - Wavenis

Wavenis et les autres "prétendants" aux faibles consommations

	Wavenis	802.15.4 ZigBee	KNX	Bluetooth
Bandes de fréquence	868 MHz (Europe) 915 MHz (USA) 433 MHz (Asie)	868 MHz (Europe) 915 MHz (USA) 2,4 GHz (monde)	433 MHz 868 MHz (Europe)	2,4 GHz
Couche physique PHY	FHSS Mono-canal	DSSS	Monocanal	FHSS
Débit effectif	4K < 20 K < 100 Kbps	25 Kps	16 Kbps	1 Mbps
Autonomie de la pile (typique)	10 ans	3 ans	2 ans	-
Portée	200 m à l'extérieur 1 km à l'extérieur	20 m	50 m	10 m

fréquence	ISM: 868 MHz
portée	jusqu'à 1km en champ libre
débit	19 kbit/s (max 100)
création	Coronis Systems (FR)
usages	télé-relève, smart lighting
propriétés	technologie propriétaire (mais alliance ouverte) longue portée trame courte (max ques centaines de bytes) basse consommation gestion batterie pas de crypto (couche app.)

source: http://www.mesures.com/pdf/old/Wavenis.pdf

LAN - M-Bus

Mode	Frequency(MHz)	Notes
S (Stationary)	868	Meters send data few times a day
T (Frequent Transmit)	868	Meters send data several times a day
C (Compact)	868	Higher data rate version of mode T
N (Narrowband)	169	Long range, narrow band system
R (Frequent Receive)	868	Collector reads multiple meters on different frequency channels
F (Frequent Tx and Rx)	433	Frequent bi-directional communication

fréquence	ISM: 868MHz, 433MHz, 169MHz
création	europe, 2013
usages	télé-relève gaz ou élecricité
propriétés	standard européen (EN 13757-4) différents mode (et freq.) France: mode N, très simple, standard industriel (Grdf)

source: http://www.adeunis-rf.com/
/ http://pages.silabs.com/rs/634-SLU-379/images/introduction-to-wireless-mbus.pdf

LAN - protocoles industriels

Gestion du bâtiment / automates industriels:

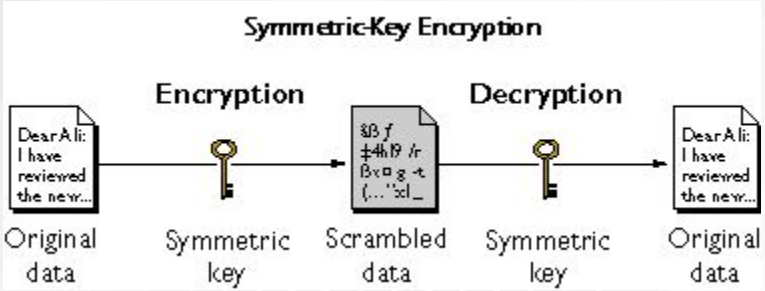
Autres

- réseaux par satellites
- LiFi (communication par ondes lumineuse)

Cryptographie

= outils et techniques pour sécuriser des échanges

Chiffrement symétrique



Principe:

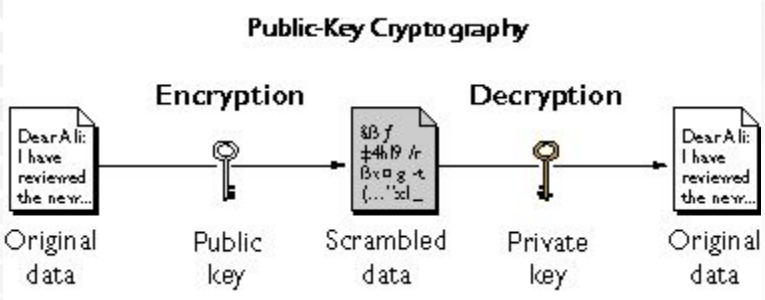
un secret (ou « clé ») est connu de l'émetteur et du destinataire,
un algorithme permet de passer du contenu en clair au contenu chiffré et inversement au moyen du secret (S).

Implémentations:

- Chiffrement par bloc: DES, 3DES, IDEA, Blowfish, **AES***
- Chiffrement par flux: RC4, SEAL

source: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSB23S_1.1.0.14/gtps7/s7symm.html

Chiffrement Asymétrique



Principe:

une paire clé privée / clé publique est utilisée,
un contenu peut être chiffré via la clé publique puis déchiffré par la clé privée,
ou encore signé via la clée privée et vérifié par la clé publique.

La clé publique est diffusable librement.

Implémentations / Algorithmes:

RSA (1978) / Diffie et Hellman / Courbes elliptiques

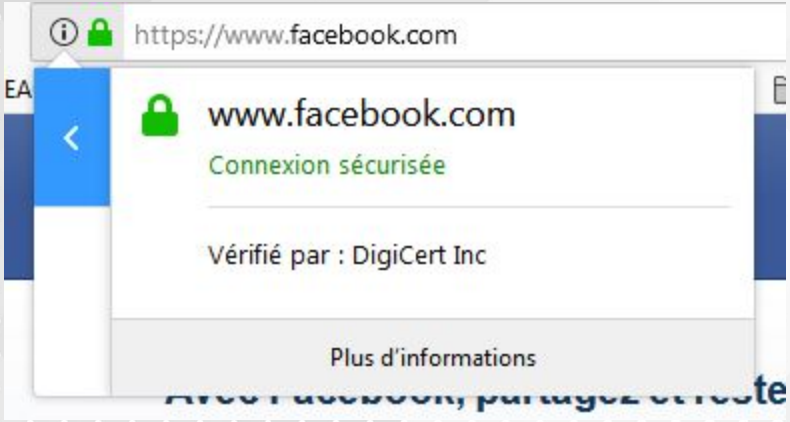
Certificat cryptographique

Principe:

un certificat cryptographique associe une clé publique à une identité, pour une plage de temps donnée.

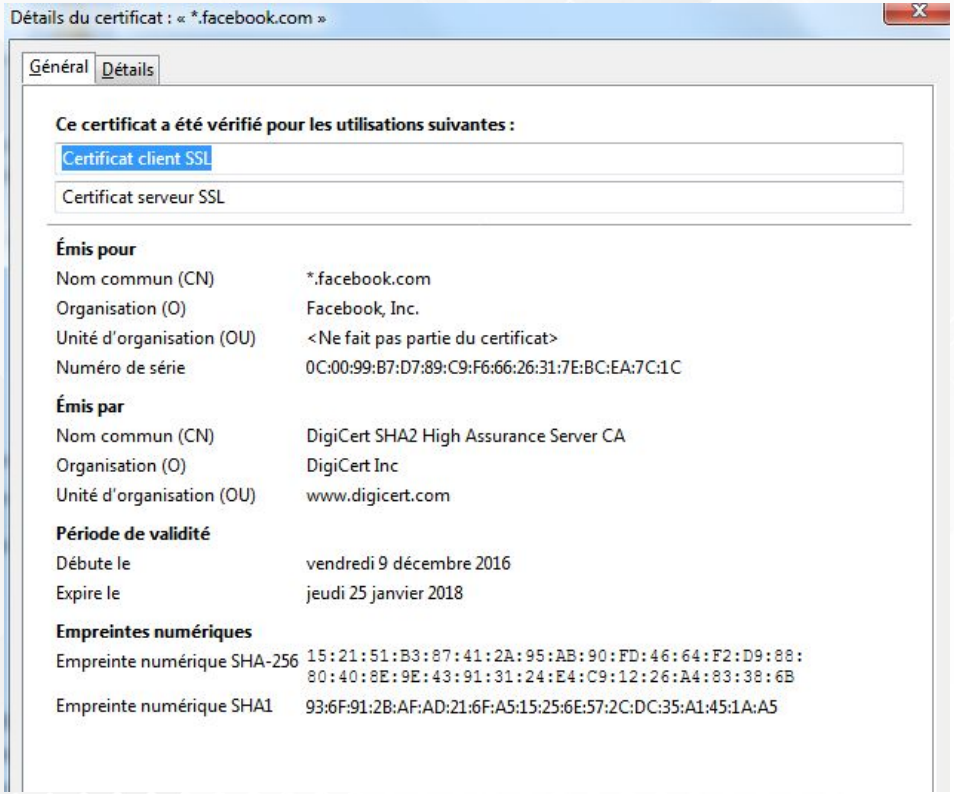
Un certificat peut lui-même être signé par une « autorité de certification », on peut ainsi créer des « chaine de certification ».

Standard: **X.509**



Identité du site web

Site web :	**www.facebook.com**
Propriétaire :	**Ce site web ne fournit pas d'informations sur son propriétaire.**
Vérifiée par :	**DigiCert Inc**
Expire le :	**jeudi 25 janvier 2018**



Certificats cryptographiques - compléments

CSR

« Certificate Signature Request »

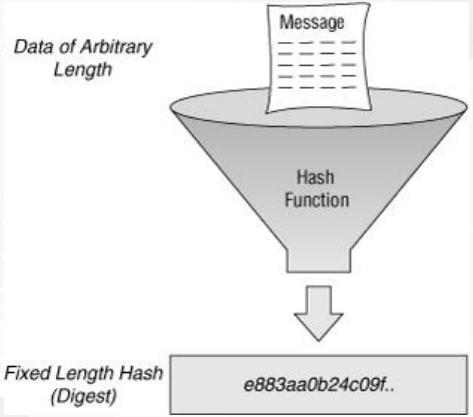
il s'agit d'une demande de signature dde certificat auprès d'un autorité: la demande est chiffrée avec la clé publique de l'autorité.

CRL

« Certificat Revocation List »

Permet de diffuser une liste de certificats « blak listés » (parce que volés par exemple).

Hash cryptographique



Principe:

une fonction de « hashing » permet de produire une « empreinte » (le « hash ») compact d'un contenu.

On ne peut pas remonter du de l'empreinte au contenu d'origine.

On ne peut pas forger de contenu ayant une empreinte donné.

En disposant d'un hash, il est donc possible de s'assurer qu'un contenu n'a pas été altéré.

Implémentations / Algorithmes: MD5, SHA1, SHA256

Résumé - outils cryptographiques

- Chiffrement symétrique vs asymétrique
- Symétrique:
  - AES
- Asymétrique
  - RSa
  - ECC
- Hash: md5, Sha
- Certificat = identité + clé publique (format: x509)
- CSR : certificate signature request
- CRK: Certificate Revocation List

Protocoles cryptographiques: SSL / TLS

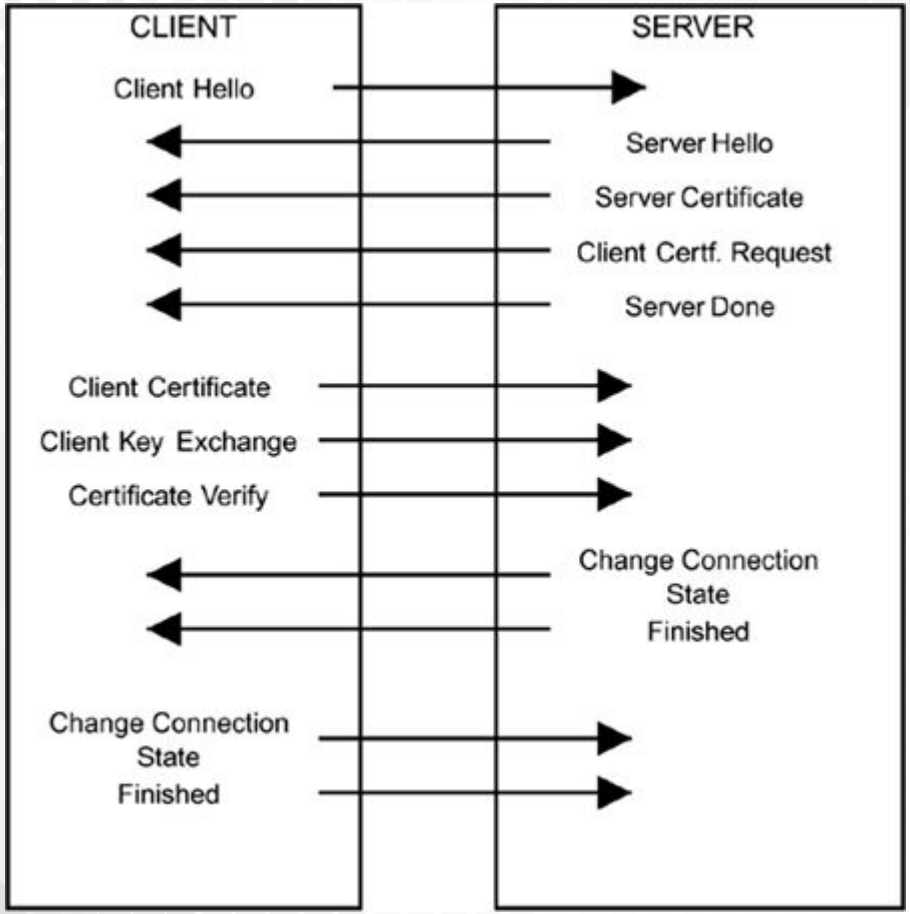
SSL = « Secure Socket Layer » (Netscape, 1994)

TLS = « Transport Layer Security » (= SSL v3.0) (1999 IETF)

Fonctions:

- Authentification (serveur et/ou client)
  => éviter l'usurpation d'identité d'un des interlocuteurs
- Confidentialité des échanges
  => empêcher le vol de données sensibles par interception
- Intégrité des informations transmises
  => empêcher l'injection de données fabriquées

SSL / TLS


CLIENT
SERVER
Client Hello
Server Hello
Server Certificate
Client Certf. Request
Server Done
Client Certificate
Client Key Exchange
Certificate Verify
Change Connection State
Finished
Change Connection State
Finished

DTLS (Datagram TLS)

= TLS appliqué à un transport "datagram" (UDP, SMS…)

- Échange de « records »
- numéro de séquence explicite
- Accepte doublons, pertes…
- Encryption « stateless » (pas de chiffrement par flot)

Bilan

Principes

- Modèle OSI:
  modèle théorique en 7 couches distribuant les mécanismes utiles à une communication applicative:
  couches physique / liaison / réseau / transport / session / présentation /application

- Communication radio:
  l'utilisation des différentes bandes de fréquence est encadré,
  certaines bandes sont réservées (usage militaire, bandes sous licence opérateur),
  d'autres sont ouvertes (bandes "ISM")

- Protocoles:
  un “protocole” est un ensemble de règle / convention qui permettent à deux interlocuteurs d’échanger et de se comprendre.
  (ex: fréquences à utiliser et rythme d’échange, manière de détecter la présence / pallier aux collisions / erreurs, découpage et représentation des données…)

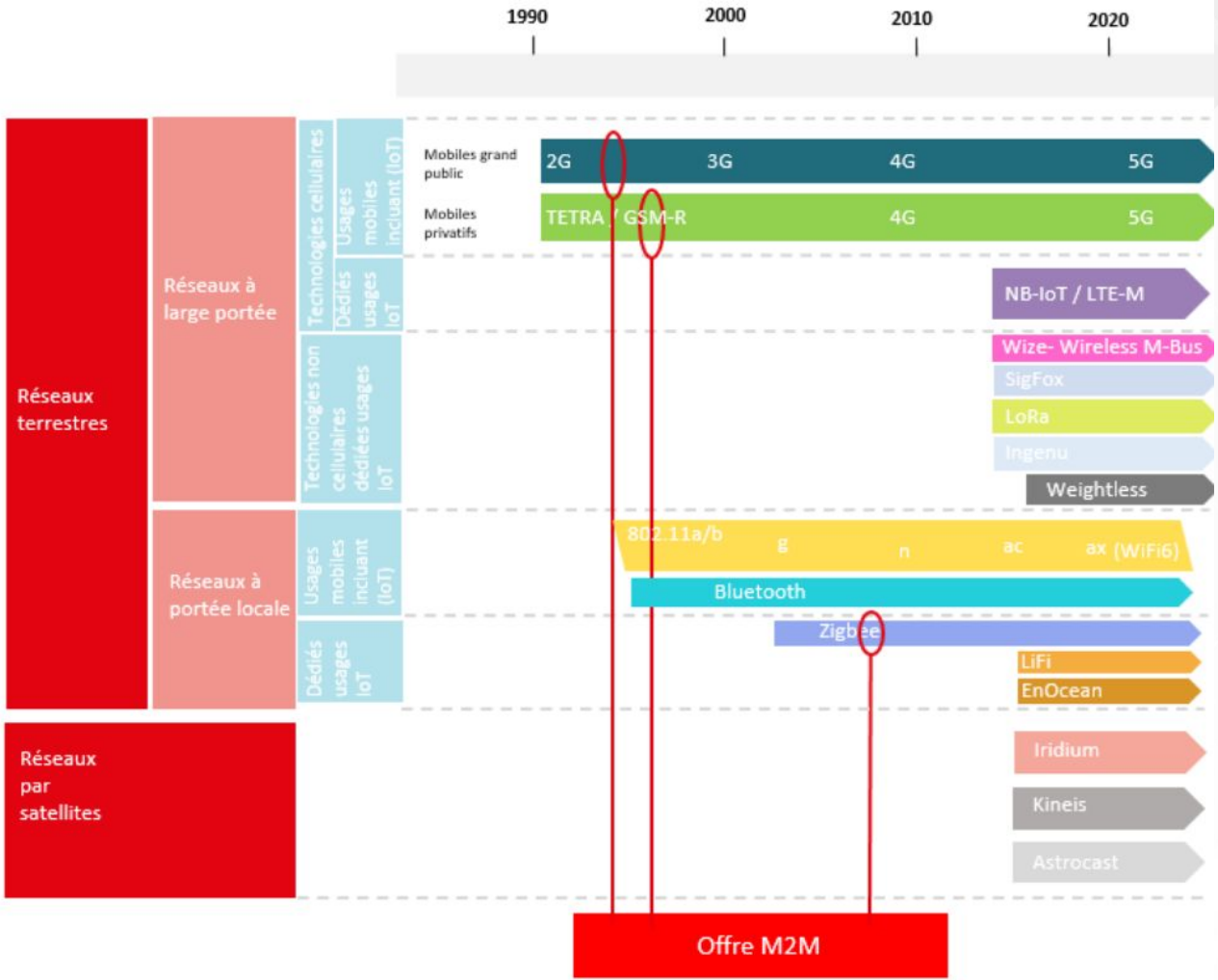
Protocoles radio

il en existe de très nombreux, qui se démarquent par des différence de portée/débit/verbosité/sécurité, certains sont même spécifiques à un domaine d'application.

Exemples:

- Les standard (généralistes) : Wifi, Bluetooth / BLE, 802.15.4, NFC
- Domotique: zigbee, z-wave, EnOcean
- "LPWAN" - bas débit, basse consommation et longue portée: LoRa, Sigfox
- Spécifiques: Ant/Ant+ (sport), Dect (téléphonie fixe), Wavenis / MBus (relève de compteurs)
- Réseaux cellulaire (sur fréquences privées) : GSM, 2G/3G/4G… (derrière lesquels un forêt de technologies: GPRS, HSPA, LTE...=)

L'IoT a pour particularité de pousser à l'émergence de protocoles basse consommation, ce qui se diffuse dans les standards cellulaire par ex. (NB-IOT, LTE-M).



Protocoles Radio pour l'IoT - ref: https://www.banquedesterritoires.fr/...

Protocoles IP

- Internet repose sur la famille des protocoles “IP” qui permettent à des ordinateurs de communiquer d’un bout à l’autre du globe.

- TCP et UDP sont les deux protocoles de transport majeurs au dessus d’IP, sur lesquels se fondent l’ultra majorité des protocoles applicatifs modernes
(HTTP pour le web, SMTP/POP/… pour les mails, FTP/bittorrent pour l’échange de fichiers…)

- HTTP est utilisé par ailleurs exposer des “services web / API”: des interfaces web applicatives permettant d’interconnecter des programmes (“services web”),
associé aux formats JSON ou XML pour représenter la donnée.

Cryptographie

= un ensemble d'outils fondés sur les mathématiques, permettant de sécuriser échanges ou secret:

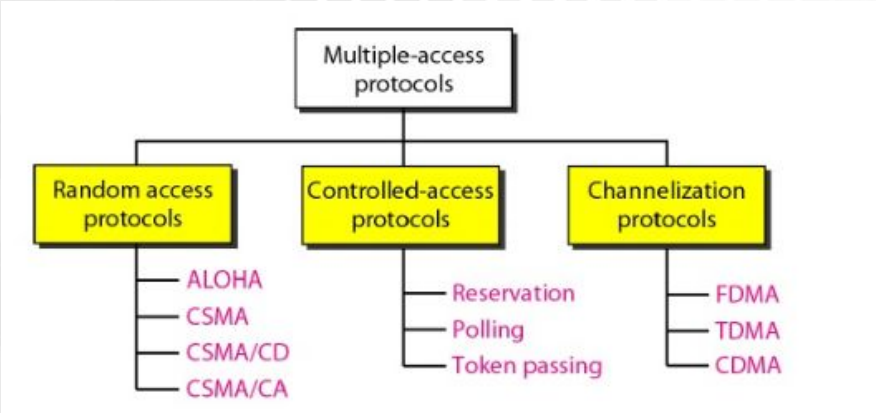
- authentifier: s'assurer de l'identité d'un interlocuteur
- chiffrer: rendre un contenu / un échange incompréhensible pour un attaquant

TLS (et son pendant pour UDP: DTLS) est un protocole permettant de sécuriser une communication TCP.

Un "certificat" identifie un interlocuteur de confiance.

Annexes

Algorithmes d'accès au medium



ALOHA: back-off exponentiel

CSMA: Carrier Sense Multiple Access

- CD = collision detection
- CA = collision avoidance
- CR = collision resolution

FDMA = Frequency Division Multiple Access

TDMA = Time …

CDMA = Code …

source http://fr.slideshare.net/mangal007/aloha-6646824

Les bandes de fréquence