

# Réseaux

## Protocole Internet : VLAN

IUT-2  
Département Informatique

14 mai 2024

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Organismes de standardisation

Réseaux et société

Glossaire57

# Sommaire

## Rappels Ethernet et IPv4

Rappels

Analogie avec un système postal

Révisions

## Réseaux locaux virtuels : VLAN

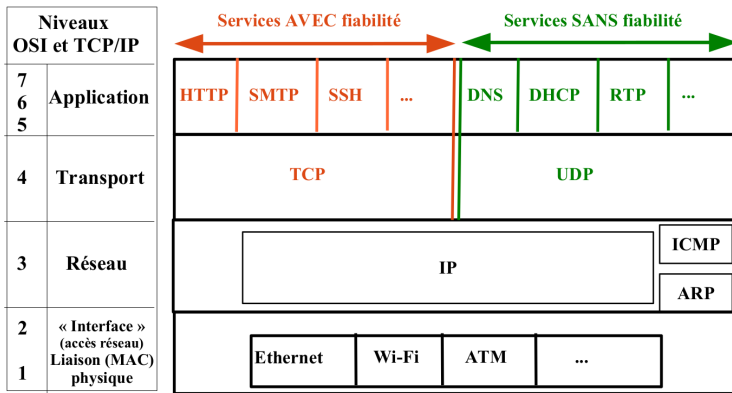
## Organismes de standardisation

## Réseaux et société

Glossaire57

# Internet et son architecture TCP/IP

**Internet** : Interconnexion de réseaux « Inter Net » ou inter-réseau.  
L'architecture de l'Internet, appelée « Architecture TCP/IP », a pour objectif le déploiement d'applications sur un inter-réseau, indépendamment des technologies physiques de ces réseaux.



# Identifiants dans l'architecture TCP/IP

Adresse physique du niveau interface (accès réseau) :

- ▶ dépend du réseau physique (ex. adresses **Media Access Control (MAC)**)

Adresse du niveau réseau :

- ▶ **Adresse IP** : adresse « logique », comprenant une partie identifiant le réseau et une partie identifiant la machine dans le réseau.
- ▶ Par exemple : 192.131.15.17
- ▶ Une (parfois plusieurs) adresse IP par interface

Identification des processus au niveau transport :

- ▶ adresse IP + **numéro de port**

Identification des utilisateurs/ressources dans les applications : **adresse mail, URL ...**

# Le protocole Ethernet

## Fonction

Transmettre des unités de données « trames » entre deux machines directement connectées (ou via un commutateur).

- ▶ Service avec retransmission en cas de collision.
- ▶ Pas de correction si le Frame Check Sequence (FCS) est erroné.
- ▶ Longueur max des données 1500 octets par trame.
- ▶ Couvre les couches 1 et 2 du modèle Open Systems Interconnection (OSI).

Plusieurs débits et media possible :

- ▶ 100BASE-T : 100Mbit/s sur câble de paires torsadées.
- ▶ 1000BASE-FX : 1Gbit/s sur fibre optique.

# Le protocole IP

## Fonction

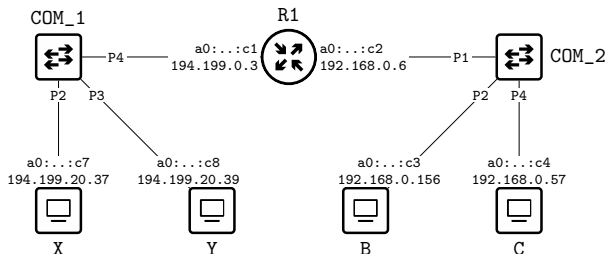
Assurer l'acheminement des unités de données « paquets IP » dans l'inter-réseau

- ▶ Service sans contrôle d'erreur ni contrôle de flux de bout en bout.
- ▶ Service de base de type Best Effort (BE)
- ▶ Service de fragmentation de données si les réseaux traversés ont des Maximum Transfer Unit (MTU) de valeurs différentes.

Deux versions du protocole :

- ▶ IPV4 : adresse sur 32 bits [rfc, 1981]
- ▶ IPV6 : adresse sur 128 bits [Hinden et Deering, 1998]

# Exemple



Combien de trames pour un paquet IP de Y vers X ?  
 Combien de trames pour un paquet IP de Y vers C ?

trame n°	@MAC source	@MAC destination	@IP source	@IP destination
1 Y → X				
2 Y → C				
...				



# Sommaire

## Rappels Ethernet et IPv4

Rappels

Analogie avec un système postal

Révisions

## Réseaux locaux virtuels : VLAN

## Organismes de standardisation

## Réseaux et société

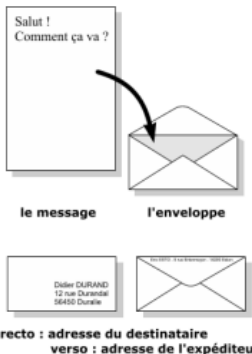
Glossaire57

# Un adressage unique

Pour transmettre un message il faut connaître l'adresse du destinataire (et de l'expéditeur).

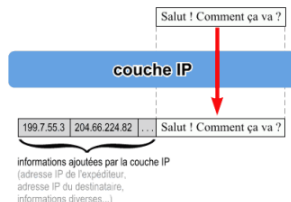
## Système Postal

On met le message dans une enveloppe,  
On inscrit l'adresse du destinataire,  
On inscrit l'adresse de l'expéditeur.



## Protocole IP

On met le message dans le champ info du paquet,  
On met l'adresse IP de la destination,  
On met l'adresse IP de la source.



# Le routage

## Système Postal

Le courrier est relevé, envoyé au centre de tri de la ville, puis transmis à d'autres centres de tri jusqu'à atteindre le destinataire.



## Protocole IP

Le paquet IP va transiter d'ordinateur en ordinateur jusqu'à atteindre le destinataire.



# La couche liaison

Chaque saut d'un point à un autre peut se faire de différentes manières.

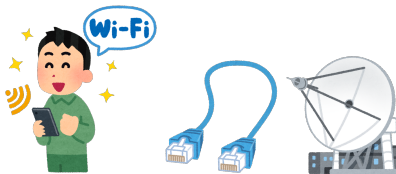
## Système Postal

Voiture, train, avion, bateau ...



## Internet

Ethernet, Wifi, liaison serie, cable, fibre optique, satellite ...



# Sommaire

## Rappels Ethernet et IPv4

Rappels

Analogie avec un système postal

Révisions

## Réseaux locaux virtuels : VLAN

## Organismes de standardisation

## Réseaux et société

Glossaire57

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Nécessité des VLANs

VLAN : définition

Exemple de mise en œuvre de VLAN

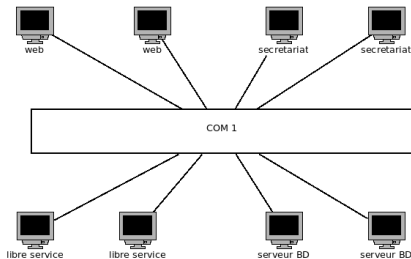
Organismes de standardisation

Réseaux et société

Glossaire57

# Réseau exemple

Soit le Local Area Network (LAN) ci-dessous qui pourrait être celui d'une bibliothèque



Propriétés d'un tel réseau :

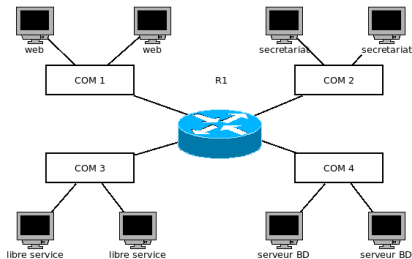
- + simple
- manque de sécurité (accès via web ou libre-service)
- trafic important → *broadcast* arrivant sur toutes les machines

Comment amener une meilleure isolation ?

→ faire des sous-réseaux

# Exemple avec des sous-réseaux.

Les sous-réseaux pourraient être implantés de la manière ci-dessous.



Propriétés d'un tel réseau :

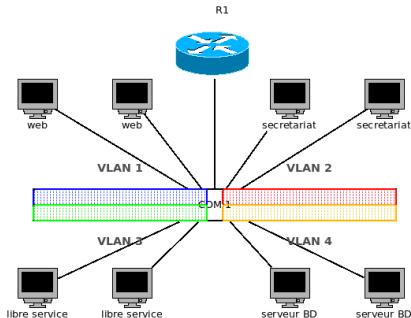
- + isolation des sous-réseaux
  - implique un coût important (achat matériel, maintenance, espace, énergie)
  - difficile à configurer

→ utiliser un seul commutateur avec des réseaux locaux virtuels (VLAN)



# Exemple avec des VLANs

En isolant les ports à l'“intérieur” du commutateur on peut obtenir :



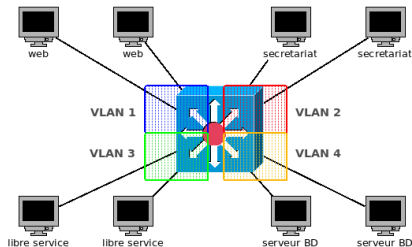
Propriétés d'un tel réseau :

- + séparation des sous-réseaux au niveau des ports (*broadcast* et sécurité)
- + Un seul commutateur est utilisé
- + grande flexibilité (modification des machines), facile à configurer

→ toujours besoin d'un routeur pour gérer la communication entre Virtual Local Area Network (VLAN)s

# Exemple avec des VLANs et un switch2-3

En utilisant un switch 2-3 :



Propriétés d'un tel réseau :

- + Séparation des sous-réseaux au niveau des ports (*broadcast* et sécurité).
- + Un seul matériel est utilisé qui joue le rôle de commutateur **ET** routeur.
- + Grande flexibilité (modification des machines), facile à configurer.

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Nécessité des VLANs

VLAN : définition

Exemple de mise en œuvre de VLAN

Organismes de standardisation

Réseaux et société

Glossaire57

# Qu'est-ce qu'un VLAN ? Un switch 2-3 ?

- ▶ Réseau local virtuel (VLAN : Virtual Local Area Network) :
  - ▶ Réseau local : technologie Ethernet (ou Wi-Fi).
  - ▶ Virtuel : dissociation entre la structure matérielle du réseau et la définition de réseaux IP.
  - ▶ Principe : diviser un réseau local (physique) en plusieurs réseaux logiques (IP) appelés VLAN.
  - ▶ Équipements permettant les VLANs : certains commutateurs et le switch2-3.
- ▶ Le switch2-3 (ou commutateur-routeur, ou switch multi-niveau). Il assure à la fois :
  - ▶ Une fonction de commutation Ethernet (niveau 2 de la couche OSI = niveau liaison).
  - ▶ Une fonction de routage IP (niveau 3 de la couche OSI = réseau).

# Pourquoi créer des VLANs ?

Améliorer la bande passante.

- ▶ LAN avec beaucoup de stations → un grand domaine de diffusion (*broadcast*).
- ▶ Périphériques sont exposés à un grand nombre de messages de broadcast ce qui nécessite un temps de traitement important.
- ▶ Un LAN de 500 stations sera plus encombré que 10 VLANs de 50 stations.

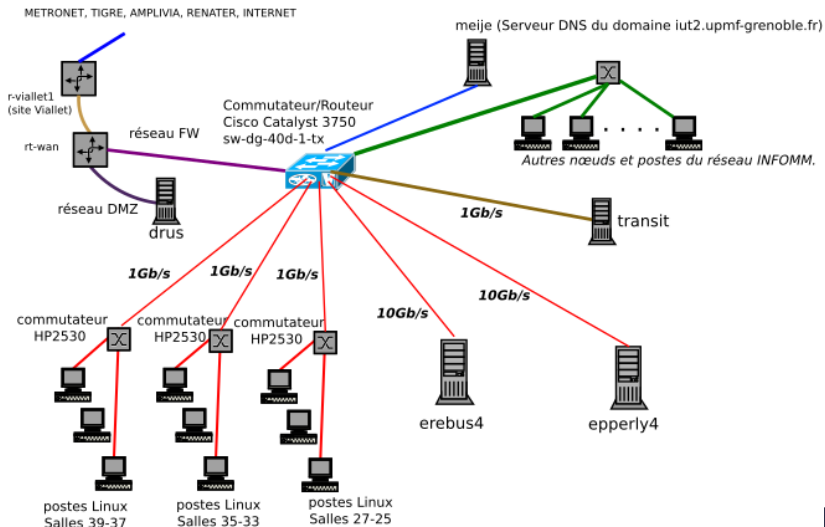
Améliorer la sécurité.

- ▶ Les attaques utilisant le broadcast sont contenues au sein d'un VLAN (*ARP cache poisoning*, *DHCP spoofing*, attaque *smurf*, *MAC table overflow*).
- ▶ Les VLANs peuvent être connectés via des routeurs et des pare-feux.

Faciliter la gestion.

- ▶ Flexibilité de définition de VLANs, moins de matériel à maintenir.
- ▶ Séparation logique en fonction des départements ou des groupes de travail ou toute autre logique.
- ▶ Amélioration de la QoS : On peut favoriser certains VLANs plus que d'autres (priorité)

# Le switch2-3 de l'IUT2



# Le switch2-3 de l'IUT2

Cisco Catalyst WS-C3850-24T-L



Quelques propriétés

- ▶ Rackable, 1 Rack Unit
- ▶ 24 ports Ethernet 10/100/1000
- ▶ Deux ports 10 Gigabit Ethernet ou quatre ports 10 Gigabit Ethernet
- ▶ Support logiciel pour le routage IPv4 et IPv6, routage multicast, QoS modulaire

# Principe de fonctionnement

Un switch2-3 permet de répartir les stations qui lui sont connectées en plusieurs réseaux IP virtuellement indépendants (VLANs)

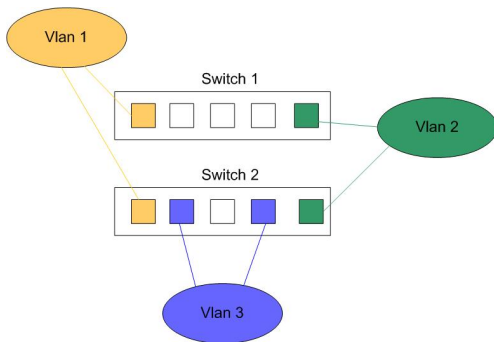
- ▶ Un VLAN fonctionne comme un réseau local Ethernet : les stations d'un même VLAN font partie du même réseau Ethernet (et donc du même réseau IP).
- ▶ Chaque VLAN étant un réseau IP, il a une adresse de réseau IP et un espace d'adresses IP avec une @IP par station qui en fait partie, plus une @IP pour le switch2-3.
- ▶ Le switch2-3 utilise la commutation Ethernet pour faire communiquer les stations d'un même VLAN (table de commutation : N° de ports du switch ↔ adresses MAC).
- ▶ Pour les échanges entre stations de VLANs différents, le switch2-3 utilise le routage IP (table de routage, @ IP).



# VLAN de niveau 1

Répartition des stations dans les VLANs en fonction des ports des commutateurs :

- ▶ Mise en place simple sauf si les VLANs sont sur plusieurs switches (utiliser 802.1Q).
- ▶ Très bonne sécurité.



Source : <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/SURZUR-DEFrance/vlan.html>

# VLAN de niveaux 2 et 3

Niveau 2 : chaque VLAN est défini par la liste des **@MAC des stations**.

- ▶ Configuration centralisée entre commutateurs.
- ▶ Sécurité moyenne (usurpation d'@MAC)

Niveau 3 : chaque VLAN est défini par son **@IP de réseau**.

- ▶ Appartenance automatique d'une station par son @IP (mais plus lent, car niveau 3).
- ▶ Sécurité faible (usurpation d'@IP).

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Nécessité des VLANs

VLAN : définition

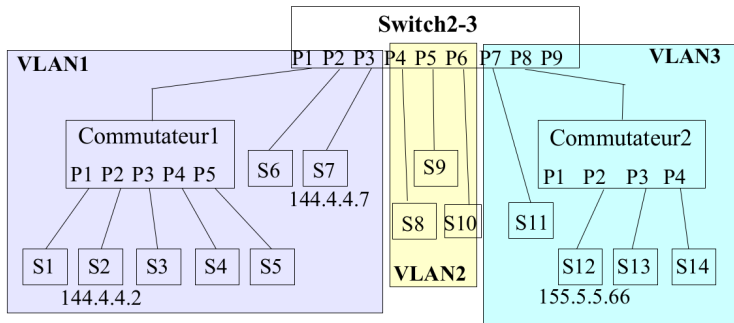
Exemple de mise en œuvre de VLAN

Organismes de standardisation

Réseaux et société

Glossaire57

# Exemple de configuration statique



Trois VLANs :

- 1 VLAN1 : (P1, P2, P3) @IP :144.4.4.0/24
- 2 VLAN2 : (P4, P5, P6) @IP :155.5.5.32/27
- 3 VLAN3 : (P7, P8, P9) @IP : 155.5.5.64/26

## Adresses du switch2-3

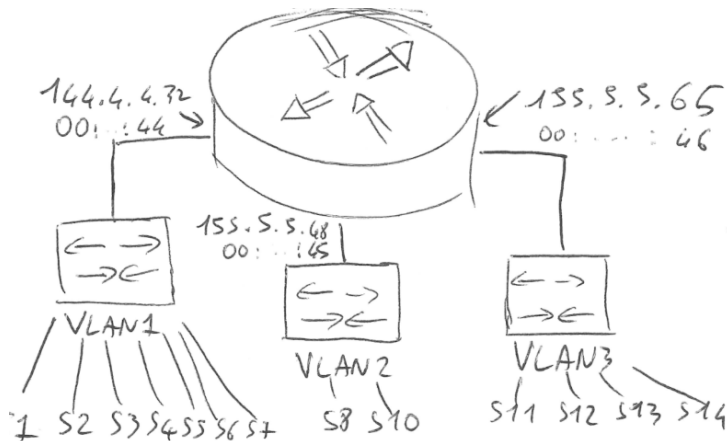
C'est un routeur IP : il a donc autant d'adresses IP que de réseaux VLAN IP qu'il définit :

- ▶ @IP dans le VLAN1 : 144.4.4.32
- ▶ @IP dans le VLAN2 : 155.5.5.48
- ▶ @IP dans le VLAN3 : 155.5.5.65

À ces adresses IP sont associées des adresses MAC :

- ▶ @MAC (P1, P2, P3) : 00:0d:29:e3:63:44
- ▶ @MAC (P4, P5, P6) : 00:0d:29:e3:63:45
- ▶ @MAC (P7, P8, P9) : 00:0d:29:e3:63:46

## Équivalent matériel du switch2-3



## Tables du switch2-3

Table de commutation utilisée pour tous les échanges entre stations d'un même VLAN (équivalente à 3 tables de commutation).

@MAC dest	n° port
@MAC S1 à S5	P1
@MAC S6	P2
@MAC S7	P3
@MAC S8	P4
@MAC S9	P5
@MAC S10	P6
@MAC S11	P7
@MAC S12 à S14	P8

Table de routage pour les autres échanges :

Destination	Gateway	Genmask	Iface
144.4.4.0	0.0.0.0	255.255.255.0	vlan1
155.5.5.32	0.0.0.0	255.255.255.224	vlan2
155.5.5.64	0.0.0.0	255.255.255.192	vlan3

## Routage depuis une station

Les tables de routage des stations du **VLAN1** sont de la forme :

Destination	Gateway	Genmask	Iface
144.4.4.0	0.0.0.0	255.255.255.0	eth0
0.0.0.0	144.4.4.32	0.0.0.0	eth0

Les tables de routage des stations du **VLAN2** sont de la forme :

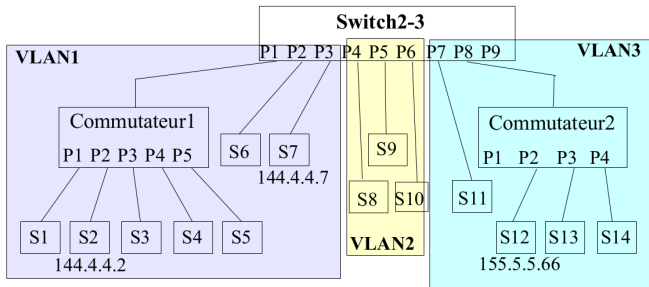
Destination	Gateway	Genmask	Iface
155.5.5.32	0.0.0.0	255.255.255.224	eth0
0.0.0.0	155.5.5.48	0.0.0.0	eth0

Les tables de routage des stations du **VLAN3** sont de la forme :

Destination	Gateway	Genmask	Iface



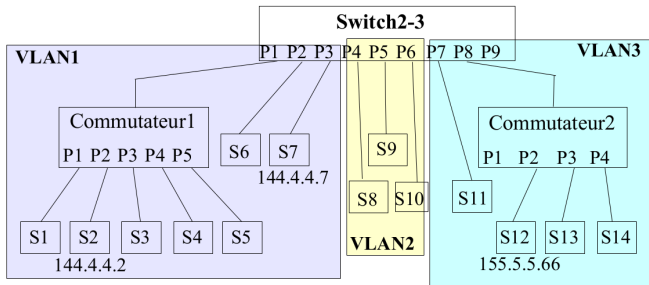
# Fonctionnement du switch2-3 : commutation ou routage ?



Cas 1 : S2 envoie un paquet à S7 :

- ▶ Sa table de routage indique que le « gateway » est elle-même.
- ▶ S2 envoie donc directement une trame dont l'adresse destination Ethernet est l'adresse de S7.
- ▶ Le switch2-3 reçoit une trame dont il n'est pas le destinataire : il utilise donc sa table de commutation pour envoyer cette trame sur le port 3 où est situé S7.

# Fonctionnement du switch2-3 : commutation ou routage ?



Cas 2 : S2 envoie un paquet à S12 :

- ▶ Sa table de routage lui indique que le « gateway » est le switch2-3 d'adresse IP 144.4.4.32.
- ▶ S2 envoie donc une trame Ethernet dont l'adresse destination est l'adresse MAC du switch2-3 (00:0d:29:e3:63:46) sur le réseau 144.4.4.0.
- ▶ Le switch2-3 va faire appel à sa table de routage IP pour pouvoir acheminer ce paquet vers S12.

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Organismes de standardisation

Les agences de standardisation

Autres structures de standardisation

Réseaux et société

Glossaire57

# Standardisation

- ▶ Importance : pour communiquer, il faut s'entendre...
- ▶ Complexité technologique et convergence de métiers différents : informatique, télécommunication, téléphonie, télévision, audio...
- ▶ Organisations internationales de normalisation :
  - ▶ IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
  - ▶ IETF : Internet Engineering Task Force
  - ▶ ISO : International Organization for Standardization

architecture de référence OSI : Open Systems Interconnection

# Standardisation des protocoles de l'Internet : l'IETF

Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org>

- ▶ ouvert à tous, mais avoir de l'influence se mérite.

Le lieu où tous les protocoles de référence ont été et continuent d'être standardisés, par exemple :

- ▶ TCP, UDP, IPv4, IPv6, ICMP, IGMP, MLD, ARP, DHCP, DHCPv6, RTP/RTCP, RTSP, SIP, etc.
- ▶ plus de 6000 standards et 124 groupes de travail actifs.

Deux principes fondateurs :

- ▶ « **We believe in rough consensus and working code.** »
- ▶ « **Be conservative in what you send and liberal in what you accept.** »

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Organismes de standardisation

Les agences de standardisation

Autres structures de standardisation

Réseaux et société

Glossaire57

# Autres structures de standardisation

## Associations professionnelles :

- ▶ Le consortium W3C ([www.w3.org](http://www.w3.org)) : protocoles et directives pour le développement du Web.
- ▶ La structure de coopération 3GPP (3rd Generation Partnership Project ([www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)) : spécifications pour les réseaux mobiles 4G et 5G.
- ▶ Le forum WiMAX ([www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)).
- ▶ Le forum DSL ([www.adsl.com](http://www.adsl.com)) : lignes d'accès haut débit.

## Agences de réglementation :

- ▶ Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP) : [www.arcep.fr](http://www.arcep.fr)
- ▶ CNIL : ([www.cnil.fr](http://www.cnil.fr)) Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

Missions de l'ARCEP :

- ▶ Assurer le bon fonctionnement des réseaux téléphoniques, mobiles et Internet, en particulier en matière de qualité de service, interconnexion de données et transition vers IPv6 ;
- ▶ Protéger contre les atteintes possibles à la neutralité d'internet.

Mesures de la qualité du service d'accès à internet :

- ▶ Avec des outils de crowdsourcing



# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Organismes de standardisation

Réseaux et société

La neutralité du net

Impact écologique

Autres protocoles et réseaux émergents

Glossaire57

# La neutralité du Net

principe devant garantir l'égalité de traitement de tous les flux de données sur Internet [Wu, 2003]

Exclusion de toute discrimination sur :

- ▶ la source
- ▶ la destination
- ▶ contenu de l'information transmise

## Origine et difficulté du principe

Internet un système ouvert et décentralisé composé de :

- ▶ une architecture physique – les câbles, routeurs, satellite, data centers etc.
- ▶ une architecture logique – les protocoles et standards de communication

Les entreprises privées et publiques ont la main sur le réseau physique (système propriétaire, contrôle).

Les protocoles sont ouverts et les utilisateurs peuvent développer des applications sans restriction.

# La neutralité du Net en question

## Lois protégeant le principe

Le droit européen garantit à l'utilisateur le libre accès à l'information et aux contenus en ligne [Conseil de l'Europe, 2014]

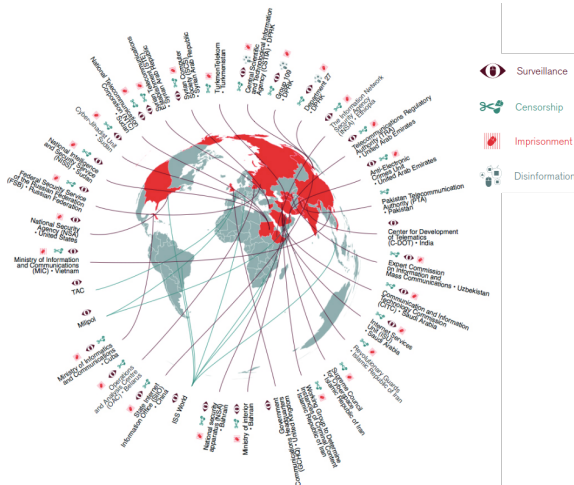
Le règlement [Commission Européenne, 2015] prévoit que : « Dans le cadre de la fourniture de services d'accès à l'internet, les fournisseurs [...] traitent le trafic de façon égale et sans discrimination, restriction ou interférence, quels que soient l'expéditeur et le destinataire, les contenus consultés ou diffusés, les applications ou les services utilisés ou fournis ou les équipements terminaux utilisés. »

En France, l'ARCEP a la mission de protéger la neutralité de l'internet (art. L. 33-1 du code des postes et des communications électroniques).

## Cas remettant le principe en cause

menaces de sécurité, ou des périodes de congestion importante du réseau, harcèlement, enquête, diffusion illégale d'œuvres artistiques (p. ex. HADOPI)

# Internet un espace de liberté ?



Les ennemis d'internet, d'après reporters sans frontières 2014 [RSF, 2014]

# Internet un espace de liberté ?

## Action directe des gouvernement sur l'infrastructure

*In Syria and Iran, Internet speed is often reduced drastically during demonstrations to prevent the circulation of images of the protests.*

*In China, the authorities disconnected the Internet for several hours on 22 January 2014 to stop the circulation of reports about the use of offshore tax havens by members of the Chinese elite.*

## Lois empechant indirectement l'utilisation d'Internet

*In Singapore, the authorities have created a major economic barrier for online news media. Under a measure that took effect in June 2013, news websites that post more than one article a week about Singapore and have more than 50,000 Singaporean visitors a month need a licence that requires depositing "a performance bond" of 50,000 Singaporean dollars (39,500 US dollars). The licence has to be renewed every one year.*

# Internet un espace de liberté ?

## Loi autorisant l'accès aux données personnelles – CLOUD Act

Le *Clarifying Lawful Overseas Use of Data Act* ou CLOUD Act (H.R. 4943) est une loi fédérale des États-Unis adoptée en 2018 sur l'accès aux données de communication (données personnelles).

Cette loi permet notamment aux instances de justice américaine de solliciter auprès des fournisseurs de services opérant aux États-Unis, les communications personnelles d'un individu sans que celui-ci en soit informé, ni que son pays de résidence ne le soit, ni que le pays où sont stockées ces données ne le soit.

# Internet un espace de liberté ? – en France

## La surveillance d'état

LOI n° 2013-1168 du 18 décembre 2013 (programmation militaire). L'article 20 prévoit que plusieurs « agents dûment habilités des services relevant des ministres chargés de la sécurité intérieure, de la défense, de l'économie et du budget » auront la possibilité de demander à une « personnalité qualifiée placée auprès du Premier ministre », l'accès aux données de connexion (et de géolocalisation) et aux contenus de tout un chacun.

→ aucune décision de justice.

La CNIL « a déploré que la rédaction définitive du texte semble autoriser un accès aux données de contenu et non seulement aux données de connexion, ce qui ne saurait intervenir en vertu des autres dispositions législatives applicables en la matière. » [CNIL, 2013]

## L'incitation à la responsabilisation/surveillance par les acteurs d'internet

*More insidiously, gender equality and anti-prostitution laws in France have increased the burden of responsibility on technical intermediaries for blocking content after being notified of it. Article 17 of the law on gender equality requires ISPs and hosting companies to identify and report any content inciting or causing hatred that is sexist, homophobic or anti-disability in nature.*

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Organismes de standardisation

Réseaux et société

La neutralité du net

Impact écologique

Autres protocoles et réseaux émergents

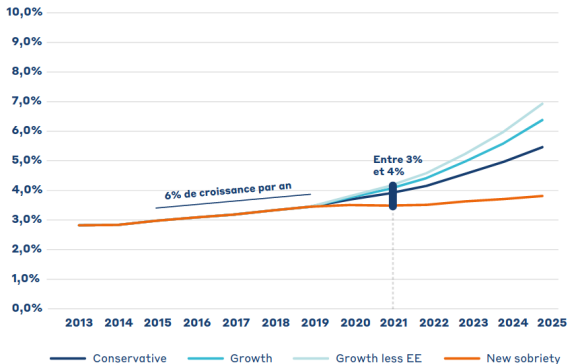
Glossaire57



# Part du numérique dans les émissions de GES mondiales

Le numérique émet aujourd'hui 4% des gaz à effet de serre du monde, et sa consommation énergétique s'accroît de 9% par an. The Shift Project a publié en octobre 2018 le rapport « Lean ICT – Pour une sobriété numérique » (2018).

**Part du numérique dans les émissions de GES mondiales**

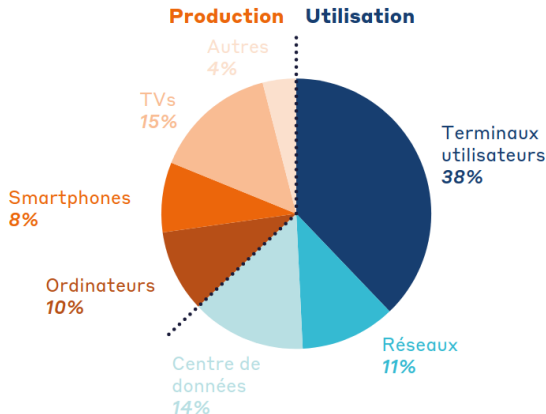


d'après [The Shift Project, 2021]

# GES Production/consommation

La phase de production des équipements occupe une part tout à fait significative, près de 40% en 2019, dans l'empreinte carbone totale du numérique.

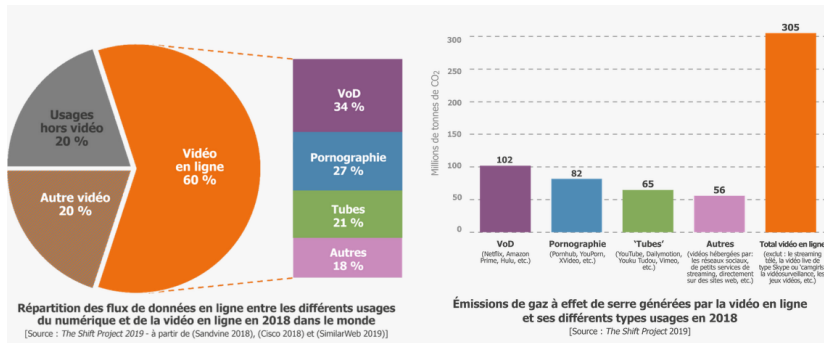
**Distribution de l'empreinte carbone  
du numérique mondial par poste en 2019**



# Essor du numérique

- ▶ L'essor de la vidéo et ses conséquences : TV, écrans publicitaires, moniteurs de grande taille ;
- ▶ Le confort assisté : les enceintes connectées, les caméras de vidéo-surveillance personnelle, etc. ;
- ▶ La généralisation du smartphone à travers le monde ;
- ▶ L'essor de l'IoT et de l'IloT ;
- ▶ Des besoins de traitement et de transport de données non absorbés par le progrès technologique :
  - ▶ L'explosion du trafic de données mobiles,
  - ▶ La demande en capacité de calcul (IA, cryptomonnaies),
  - ▶ L'edge computing

# Vidéo : Exemple



d'après [The Shift Project, 2021]

# Vers une sobriété numérique

Plusieurs solutions :

- ▶ Étendre la durée de vie des terminaux (conserver son téléphone ou ordinateur plusieurs années)
- ▶ effort en cours concernant le matériel d'infrastructure (e.g. Altarna)
- ▶ Fermer la vidéo si c'est juste pour écouter la musique (exemple)
- ▶ Visualiser la consommation électrique et les émissions de gaz à effet de serre (GES) associées à votre navigation internet :  
« Carbonalyser »
- ▶ Ne pas attendre une action de grande envergure des autorités...

# Sommaire

Rappels Ethernet et IPv4

Réseaux locaux virtuels : VLAN

Organismes de standardisation

Réseaux et société

La neutralité du net

Impact écologique

Autres protocoles et réseaux émergents

Glossaire 57

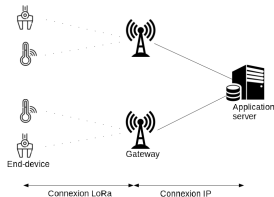
# Autres protocoles

## Zigbee

- ▶ basé sur IEEE 802.15.4[IEEE, 2003]
- ▶ communication sans fil bas débit courte distance
- ▶ la communication d'équipements personnels ou domestiques (Internet of Things (IoT))
- ▶ petits émetteurs radio à faible consommation et à bas prix

## LoraWan (Low Power Wide Area Network (LPWAN))

- ▶ sans-fils basse consommation à bas coût
- ▶ communication avec des serveurs applicatifs au travers de passerelles
- ▶ topologie en étoile d'étoiles (star-of-stars)
- ▶ portée de plusieurs kilomètres



tiré de Wikipédia

# Réseaux émergents

## 5G

- ▶ 4G → 150 à 300 Mbit/s ; 5G → 1 à 10 Gbit/s (théorique)
- ▶ Plus d'antennes (un réseau radio + un réseau Core + un réseau Data)
- ▶ Des *data centers* connectés en haut débit aux antennes cores.

La 6G (95 Gbit/s théorique) en cours de définition

## Internet Satellite

OneWeb (Eutelsat, UK, Airbus, Bharti Global) → 648 satellites

Starlink → 12 000 satellites prévus en 2025 en orbite basse.

Amazon → Projet Kuiper (premiers satellites en 2023, objectif 3200 appareils en orbite)

Projet West Ford dans les années 60<sup>1</sup>

---

1. 500 millions de fin fils de cuivre minces lancés en orbite pour tenter d'installer une antenne anneau autour de la Terre.



# Glossaire I

**ARCEP** Autorité de Régulation des  
Communications Électroniques et  
des Postes. 39, 43

**BE** Best Effort. 7

**FCS** Frame Check Sequence. 6

**IoT** Internet of Things. 55

**LAN** Local Area Network. 15

**LPWAN** Low Power Wide Area Network. 55

**MAC** Media Access Control. 5

**MTU** Maximum Transfer Unit. 7

**OSI** Open Systems Interconnection. 6

**VLAN** Virtual Local Area Network. 17, 21

# Références I



(1981).

Internet Protocol.  
RFC 791.



CNIL (2013).

rapport d'activité 2013.  
Commission nationale de l'informatique et des libertés.



Commission Européenne (2015).

Règlement (UE) 2015/2120 du parlement européen et du conseil.



Conseil de l'Europe (2014).

Guide des droits de l'homme pour les utilisateurs d'internet.  
Recommandation du Comité des Ministres aux Etats membres sur un Guide des droits de l'homme pour les utilisateurs d'internet (adoptée par le Comité des Ministres le 16 avril 2014, lors de la 1197e réunion des Délégués des Ministres).



Hinden, B. et Deering, D. S. E. (1998).

Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification.  
RFC 2460.



IEEE (2003).

IEEE standard for telecommunications and information exchange between systems -  
lan/man specific requirements - part 15 : Wireless medium access control (mac) and  
physical layer (phy) specifications for low rate wireless personal area networks (wpan).  
*IEEE Std 802.15.4-2003, pages 1-680.*

# Références II



RSF (2014).

Enemies of the internet 2014.

*Reporters Sans Frontières.*



The Shift Project (2021).

impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G.

*NOTE D'ANALYSE.*



Wu, T. (2003).

Network neutrality, broadband discrimination.

*Journal of Telecommunications and High Technology Law*, 2:141.