

Internet

Problèmes :

1. Comment peut-on récupérer sur un ordinateur chez soi un document se trouvant dans un autre ordinateur se trouvant à plusieurs centaines ou milliers de kilomètres de chez soi ?
Par exemple comment peut-on télécharger l'emploi du temps de sa classe d'un serveur Pronote sur son ordinateur à la maison ?
2. Comment peut-on imprimer l'emploi du temps en lançant l'impression de l'ordinateur vers l'imprimante ?

1 Histoire

1. **1940 : Projet Manhattan** : mise au point de la première bombe atomique. A nécessité beaucoup de calculs.
2. **1945 : Machine de Von Neumann** : un modèle d'ordinateur où les programmes et les données sont chargés en mémoire.
3. **1949 :EDVAC (Electronic Discrete Variable Computer)** Premier ordinateur selon le modèle de Von Neumann.
4. **1966 : Projet ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network)** Relier les ordinateurs des universités américaines entre eux.
5. **Années 60 : Commutation de circuits vs Commutation de paquets** ou comment se passer du réseau téléphonique en place à la fin des années 60 basé sur la commutation de circuits et créer un nouveau réseau basé sur la commutation de paquets (ressources partagées)
Témoignage de Leonard Kleinrock -> <https://www.youtube.com/watch?v=rHHpwcZiEW4&list=PLr3-oFRsHRaaNDSpRAZ98aE0zjZre8P05&index=4> de 2 :50 jusqu'à 6 :30
6. **1969 : Premier échange entre deux ordinateurs distants**
<https://www.youtube.com/watch?v=vuiBTJZfeo8&list=PLr3-oFRsHRaaNDSpRAZ98aE0zjZre8P05&index=5>
7. **1973 : Création du protocole TCP par Kahn et Cerf (prix Turing 2004)**
Vidéo de Vint Cerf expliquant le protocole TCP <https://www.youtube.com/watch?v=gZlNniI-hq0>
8. **1983** : Le protocole TCP/IP devient le seul protocole sur ARPANET qui devient Internet
9. **1983 : Apparition du DNS (voir cours sur le Web)**
10. **1990 : Création du World Wide Web par Tim Berners-Lee (Prix Turing 2016)** au CERN de Genève
11. **1998** : Protocole IPv6

2 D'un réseau local au réseau des réseaux : Internet

Nous allons commencer par regarder un réseau local associé à une box

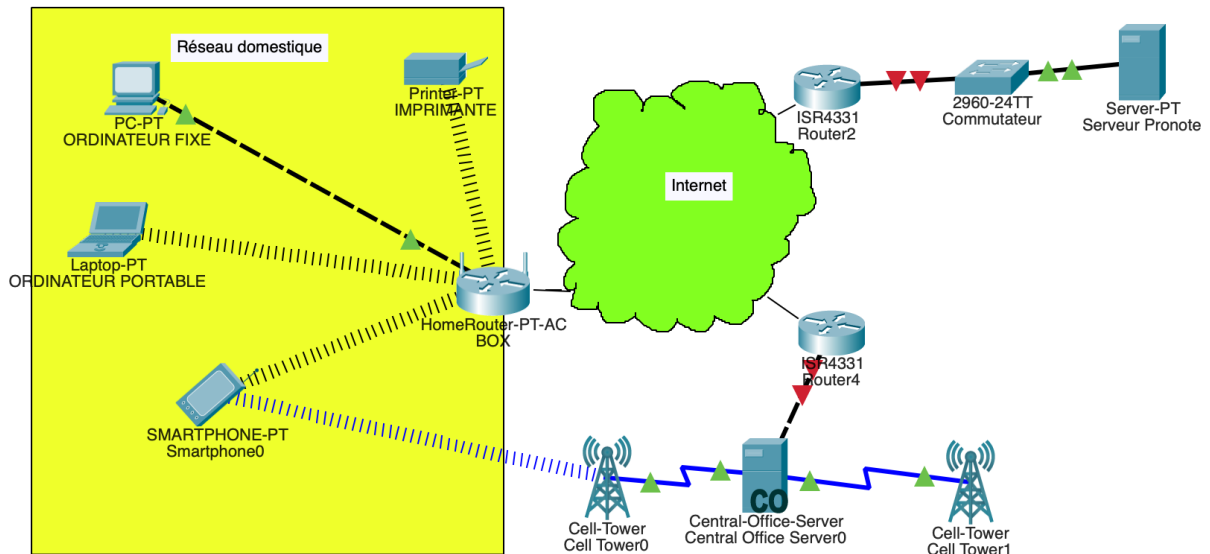
Les fournisseurs d'accès à Internet louent des box qui permettent aux particuliers d'être connectés à Internet. Il est possible d'accéder à l'**interface** (demandez à vos parents et faire l'expérience à la maison) qui permet d'avoir des informations sur la box et le réseau local associé.

Regardons un exemple de réseau local associé à une box.

L'interface de la box fournit une description des éléments connectés à la box



Voici une description **logique** du réseau domestique connecté à Internet :



On observe un **réseau en étoile** centré autour de la box.

Pour simplifier nous avons représenté uniquement un ordinateur portable, un ordinateur fixe, un smartphone, une imprimante et la box.

Le smartphone peut être connecté en wi-fi à la box ou à une antenne extérieure et donc accéder à Internet par deux routes différentes.

La box joue essentiellement le rôle de :

1. **routeur**

Un routeur sert à router ou relayer les informations du réseau familial vers Internet et vice-versa.

Ce qui est nécessaire quand on veut accéder à un ordinateur distant à partir de chez soi.

Dans la description logique on observe que la box est à la frontière de deux réseaux, le réseau domestique et Internet

2. **commutateur**

Un commutateur sert à échanger les informations entre les éléments d'un réseau local (ici le réseau domestique).

Ce qui est nécessaire quand l'ordinateur portable communique avec l'imprimante via la box.

3 **Adressage**

Comment les différentes machines sont différenciées et reconnues par la box ?

Pour que l'information puisse circuler entre les éléments d'un réseau il faut donner des **adresses IP** (Internet Protocol) aux éléments du réseau.

C'est le travail d'un administrateur réseau dans les réseaux d'entreprise.

Pour que l'installation d'une box dans les maisons se fasse de la manière la plus simple possible, la box est capable de faire le travail d'adressage de manière **dynamique**.

On dit que la box est un **serveur DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol).

La box va attribuer à chaque machine qui la sollicite, un **bail**, c'est à dire une adresse IP (v4 et v6) sur une durée de temps limitée (quelques heures).

Une **adresse IP v4** (version 4) est un groupe de 4 octets, séparés par ., par exemple 192.168.1.22 (voir tableau ci-dessous).

Une **adresse IP v6** (version 6) est un groupe de 8 groupe de 2 octets, séparés par :, par exemple



2001 :660 :7307 :6666 :3797 :f3f4 :7500 :24b6.

Si un ordinateur se déconnecte puis se reconnecte un peu plus tard il peut très bien avoir une autre adresse IP, voilà pourquoi on parle **d'adressage dynamique**

Voici une ensemble de baux chez un fournisseur d'accès

Baux DHCP valides		
nom	adresse IP	adresse MAC
[redacted]	IPv4 : 192.168.1.11	38:94:96:8E:3A:05
[redacted]	IPv4 : 192.168.1.21	A0:99:9B:18:68:79
vhjp	IPv4 : 192.168.1.22	94:DB:C9:0D:F0:E4
[redacted]	IPv4 : 192.168.1.16	1C:91:48:79:75:A5
[redacted]	IPv4 : 192.168.1.10	7C:03:D8:37:E4:09
[redacted]	IPv4 : 192.168.1.14	80:4E:70:03:0D:70
[redacted]	IPv4 : 192.168.1.12	10:F0:05:89:F0:AD
vhjp-1	IPv4 : 192.168.1.22	10:BF:48:03:B7:65

Voici une autre série de baux chez un autre fournisseur d'accès

Serveur DHCP	Baux Statiques	Baux actifs	Stat..	Bail
Freebox Player 14:0C:76:53:5C:8A 192.168.0.47		Non	Assigné: Jeudi 19 Oct à 19:13:39 Dernière mise à jour: aujourd'hui à 13:13:40 Expire dans 9 heures 54 mins 45 s	
android-e8328886c6c5c44b 38:94:96:8E:3A:05 192.168.0.16		Non	Assigné: Mardi 17 Oct à 14:49:43 Dernière mise à jour: aujourd'hui à 10:47:16 Expire dans 7 heures 28 mins 21 s	

Si on regarde les baux concernant une machine précise (une tablette android) on observe que :

la tablette a :

1. une adresse **MAC** (Media Access Control) : qui identifie de manière unique **une carte réseau** d'une machine.

Une adresse MAC est constituée de 6 octets en notation hexadécimale, par exemple la tablette android pour la communication wi-fi (wireless fidelity) a pour adresse MAC 38 :94 :96 :8E :3A :05

Propriétés de android-e8328886c6c5c44b		
Propriétés Noms Connectivité		
Adresse	Joignable	Dernière activité
192.168.0.16	Joignable	Actif
fe80::3a94:96ff:fe8e:3a05	Joignable	Actif
2a01:e0a:d:5470:3a94:96ff:f...	Injoignable depuis Mercredi 18 Oct à 04:14:21	Inactif depuis Mercredi 18 Oct à 04:14:21
2a01:e0a:d:5470:442c:9357:...	Injoignable depuis il y a 2 jours à 17:27:24	Inactif depuis il y a 2 jours à 17:27:24
2a01:e0a:d:5470:f951:63b7:...	Injoignable depuis aujourd'hui à 09:01:02	Inactif depuis aujourd'hui à 09:01:02
2a01:e0a:d:5470:207c:d8fd:2...	Joignable	Actif

Un ordinateur peut avoir plusieurs cartes réseaux.

L'ordinateur nommé vhjp-1 est en fait le même que vhjp :

- (a) vhjp-1 désigne la connexion filaire (protocole ETHERNET) avec l'adresse **MAC** 10 :BF :48 :03 :B7 :65
- (b) vhjp désigne la connexion wi-fi avec l'adresse MAC 94 :DB :C9 :0D :F0 :E4

Pour qu'une machine A communique avec une machine B sur un support physique (filaire ou wi-fi) **dans un réseau local** il est fondamental que **A connaisse l'adresse MAC de B**

2. Plusieurs adresses IP (v4 et v6), car nous sommes en 2023 dans une période de transition entre le protocole IPv 4 et le protocole IPv 6. Bientôt (un ou deux ans) le protocole IP v4 devrait disparaître.
 - (a) Une adresse IP v4 **privée** 192.168.0.16
 - (b) Une adresse IP v6 **locale** (reconnue uniquement dans le réseau domestique) fe80 :0000 :0000 :0000 :3a94 :96ff :fe8e :3a05
 - (c) Une adresse IP v6 **globale** (reconnue sur le réseau Internet) 2a01 :e0a :d :....

Comment deux ordinateurs différents d'un même réseau domestique peuvent ils être distingués dans Internet ?

Si on prend deux ordinateurs différents du réseau précédent on observe qu'ils ont la même adresse **publique** 90.92.205.162 qui est en fait l'adresse IP de la box dans internet

Les deux ordinateurs ont la même adresse IP v4 **publique** mais pas la même adresse privée. La box sert de traducteur entre les deux adresses, on dit que la box est aussi un serveur **NAT** (pour Network Address Translation)

Un autre intérêt du protocole IPv6 par rapport à IPv4 est que ce dernier élimine le besoin de traduction d'adresses du réseau (NAT), **rétablissant la connectivité de bout en bout au niveau de la couche IP.**

4 Adressage IPv4 et IPv6

Pourquoi n'a-t-on pas donné une adresse IPv4 unique et publique à chaque ordinateur dans le monde ?

Activité 1

1. Combien de nombres différents à 1 chiffre peut on écrire avec les 2 chiffres 0 et 1 ?
2. Combien de nombres différents à 2 chiffres peut on écrire avec les 2 chiffres 0 et 1 ?
3. Combien de nombres différents à 3 chiffres peut on écrire avec les 2 chiffres 0 et 1 ?
4. **Généralisation** : Combien de nombres différents à n chiffres où n est un entier peut on écrire avec les 2 chiffres 0 et 1 ?
5. Combien y-a-t-il d'adresses IPv4 possibles ?

Activité 2

1. L'I.N.S.E.E estime que le nombre de foyers en France est à peu près 28 millions. Y-a-t-il assez d'adresses IPv4 pour les foyers en France ?
2. On estime qu'aux U.S.A il y a à peu près 80 millions de foyers. Y-a-t-il assez d'adresses IPv4 pour les foyers en France et aux USA ?
3. D'après vous arrive-t-on à épuiser le nombre d'adresses IPv4 uniquement avec les foyers dans le monde ?

Activité 3

1. Combien y-a-t-il d'adresses IPv6 possibles ?
2. En utilisant l'approximation $2^{10} \simeq 10^3$ convertir 2^{128} en puissance de 10
3. Convertir la superficie de la Terre est de 510 millions de km^2 en cm^2
4. Combien peut-on mettre d'adresses IPv6 par cm^2 de la surface de la Terre ?
5. En supposant que l'on attribue 2^{32} (plus de 4 milliards) adresses IPv6, soit autant que la totalité de l'espace d'adressage IPv4, par seconde, combien de temps sera-t-il nécessaire pour épuiser l'espace d'adressage IPv6 ?

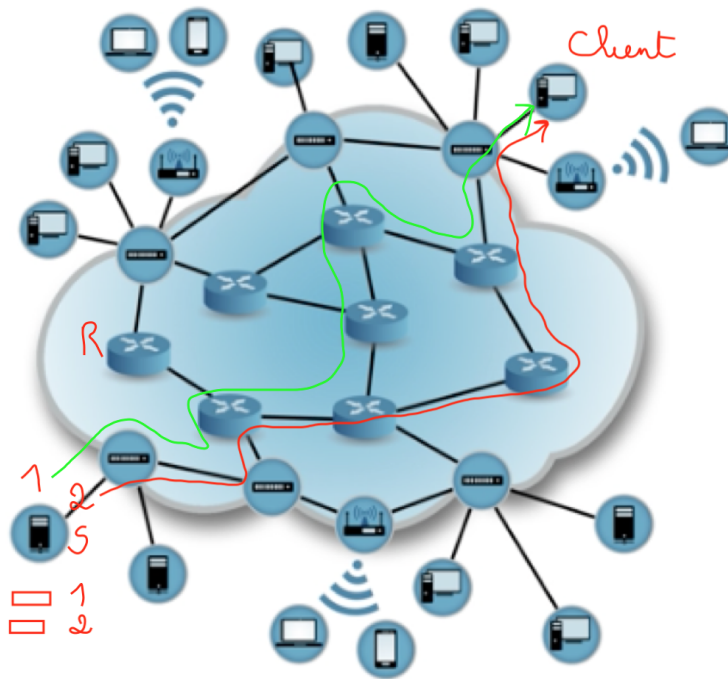
5 Interconnexion des réseaux

Tous les réseaux locaux peuvent être interconnectés par Internet. Voici une image globale et symbolique (simplifiée) de cette interconnexion

On appelle **client** un ordinateur qui demande une ressource à un autre ordinateur appelé **serveur**

Imaginons qu'un client (en haut de l'image) veuille télécharger un document relativement volumineux (un pdf de plusieurs pages) chez un serveur S (en bas à gauche)

Le document est **découpé** en paquets étiquetés et numérotés puis ces paquets vont suivre **des trajectoires indépendantes** le long du trajet du serveur au client.



Les **routeurs** R (symboles avec 4 flèches comme des carrefours) font la circulation des paquets, de manière autonome à l'aide d'algorithmes

On a dessiné pour l'exemple deux trajectoires différentes pour les paquets 1 et 2

Ensuite chez le client le document est reconstitué en tenant compte de la numérotation des paquets.

l'idée de la commutation des paquets signifie donc que :

1. Le document au delà d'une certaine taille (1500 octets) est découpée en paquets
2. Ces paquets sont commutés (aiguillés) indépendamment les uns des autres en fonction de la densité de circulation sur le réseau

On peut visualiser quelques routeurs (pas tous) entre un client et un serveur par la commande **tracert** (Windows) ou **traceroute** (Linux ou Mac) dans une console.

Par exemple on observe ci-dessous la communication entre la box d'adresse 192.168.0.254 et le serveur 93.184.216.34 et entre les deux les routeurs des lignes 2 jusqu'à 9.

```

tracert to example.com (93.184.216.34), 64 hops max, 52 byte packets
 1 192.168.0.254 (192.168.0.254) 2.604 ms 1.054 ms 0.883 ms
 2 * station11.multimania.isdnet.net (194.149.174.108) 4.789 ms 5.720 ms
 3 * * *
 4 prs-b3-link.ip.twelve99.net (62.115.46.68) 5.343 ms 4.847 ms 3.879 ms
 5 prs-bb1-link.ip.twelve99.net (62.115.118.58) 8.494 ms
   prs-bb2-link.ip.twelve99.net (62.115.118.62) 10.709 ms 3.440 ms
 6 rest-bb1-link.ip.twelve99.net (62.115.122.159) 88.169 ms 88.003 ms
   ash-bb2-link.ip.twelve99.net (62.115.112.242) 90.278 ms
 7 ash-b2-link.ip.twelve99.net (62.115.123.125) 90.527 ms 89.908 ms 90.960 m
s
 8 edgio-ic-315152.ip.twelve99-cust.net (213.248.83.119) 86.838 ms
   62.115.175.71 (62.115.175.71) 88.574 ms 89.613 ms
 9 ae-66.core1.dcb.edgecastcdn.net (152.195.65.129) 109.041 ms 82.959 ms
   ae-65.core1.dcb.edgecastcdn.net (152.195.64.129) 82.214 ms
10 93.184.216.34 (93.184.216.34) 81.218 ms 80.916 ms 86.754 ms
11 93.184.216.34 (93.184.216.34) 86.327 ms 86.803 ms 86.705 ms

```

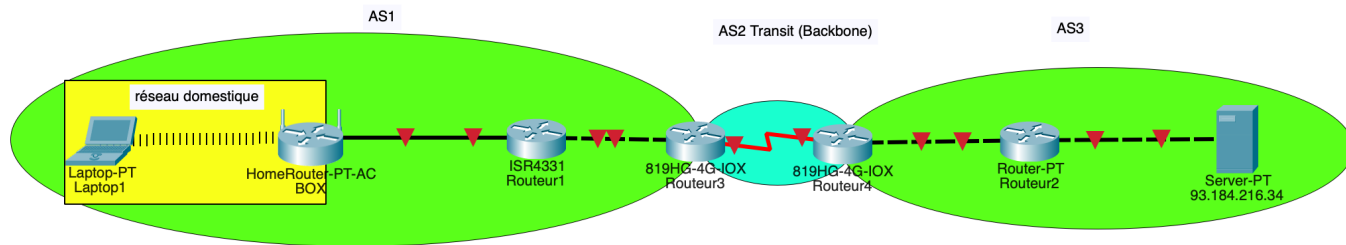
6 Systèmes autonomes

Cependant les routeurs ne sont pas isolés et rangés n'importe comment.

Chaque routeur fait partie d'un ensemble de routeurs appelé **système autonome** ou (autonomous system : AS)

En gros chaque système autonome correspond aux routeurs d'un même fournisseur d'accès à Internet (entreprises privées)

Le premier routeur est la box du réseau domestique et ce premier routeur fait partie du système autonome du fournisseur d'accès à qui vous avez loué la box.



Si de chez vous vous allez sur ce site <https://stat.ripe.net/ui2013/>, sur la page d'accueil vous aurez le numéro identifiant le système autonome de votre fournisseur d'accès (ASN pour autonomous system number) et l'adresse IPv6 du réseau associé

Pour le réseau domestique du cours

Your network: **AS12322, 2a01:e0a::/39**

Le système autonome est celui de

Name and holder of this ASN:			
PROXAD - Free SAS			
RIR	Status	Registration	Country
RIPE NCC	ALLOCATED	1999-03-11	FR

Entre chaque système autonome il y a les routeurs de transit, qui forment en quelque sorte le "coeur" d'Internet ou le **backbone**, appartenant à de grands groupes de télécommunications.

Le coeur d'Internet nécessite des investissements importants (fibre optique, câble sous-marin, etc...) que seuls de grands groupes peuvent faire.

Entre systèmes autonomes il y a des **relations commerciales** de deux types :

1. **transit** : Un système autonome de "petite" taille (économique et physique) paie une sorte de péage pour pouvoir utiliser le backbone et avoir ainsi accès à d'autres systèmes autonomes
2. **peering** : Deux systèmes autonomes de tailles équivalentes (considérés comme des pairs) échangent leurs services sans rétribution financière.

D'un point de vue économique, l'usage qui est fait d'Internet par les consommateurs (télétravail, visioconférences, réseaux sociaux, streaming) fait évoluer Internet et privilégie tel type de système autonome plutôt que tel autre.

Activité 1

A partir de la capture suivante, et en vous aidant du site <https://stat.ripe.net/ui2013/> répondre aux questions suivantes

```
traceroute to example.com (93.184.216.34), 64 hops max, 52 byte packets
 1 192.168.0.254 (192.168.0.254) 2.604 ms 1.054 ms 0.883 ms
 2 * station11.multimania.isdnet.net (194.149.174.108) 4.789 ms 5.720 ms
 3 * * *
 4 prs-b3-link.ip.twelve99.net (62.115.46.68) 5.343 ms 4.847 ms 3.879 ms
 5 prs-bb1-link.ip.twelve99.net (62.115.118.58) 8.494 ms
   prs-bb2-link.ip.twelve99.net (62.115.118.62) 10.709 ms 3.440 ms
 6 rest-bb1-link.ip.twelve99.net (62.115.122.159) 88.169 ms 88.003 ms
   ash-bb2-link.ip.twelve99.net (62.115.112.242) 90.278 ms
 7 ash-b2-link.ip.twelve99.net (62.115.123.125) 90.527 ms 89.908 ms 90.960 m
   s
 8 edgio-ic-315152.ip.twelve99-cust.net (213.248.83.119) 86.838 ms
   62.115.175.71 (62.115.175.71) 88.574 ms 89.613 ms
 9 ae-66.core1.dcb.edgecastcdn.net (152.195.65.129) 109.041 ms 82.959 ms
   ae-65.core1.dcb.edgecastcdn.net (152.195.64.129) 82.214 ms
10 93.184.216.34 (93.184.216.34) 81.218 ms 80.916 ms 86.754 ms
11 93.184.216.34 (93.184.216.34) 86.327 ms 86.803 ms 86.705 ms
```

1. A quel système autonome appartient le routeur 194.149.174.108 ?
2. Les routeurs des lignes 4 à 8 nommés "twelve99", appartiennent à un AS de transit. Comment s'appelle-t-il? Quel est son numéro d'AS ?
3. A quel AS appartient les deux routeurs de la ligne 9? Que signifie "cdn" ?

Activité 2

Sur la page <https://asrank.caida.org> vous pouvez entrer l'ASN d'un AS et avoir tous les autres AS en relation avec celui-ci.

Par exemple si vous entrez l'ASN de Free 12322, vous observez un tableau contenant tous les AS en relation avec Free, de plusieurs lignes, sur plusieurs pages

AS Rank ▾	AS neighbors ▾	Organization		AS customer cone ▾	number of paths	relationship ▲
2	1299	Arelion Sweden AB		40438	471	provider
3	174	Cogent Communications		37017	624	provider
7	6461	Zayo Bandwidth		18217	144	peer
26	31133	PJSC MegaFon		2818	2	peer
34	20764	CJSC RASCOM		2205	8	peer

1. Quels sont les deux AS de transit avec lesquels travaillent Free ? (Dans la colonne relationship regarder provider) (faire le lien avec l'activité 1)
2. Citer un AS avec lequel Free a des relations de "peering" ?
3. Réciproquement entrer dans la barre de recherche l'ASN 1299 de Arelion et observer qu'Arelion fait du "peering" avec Orange (ASN = 5511) et que Free est un client d'Arelion (customer)

En conclusion voici un article concernant l'interconnexion des données -> https://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/observatoire/ipv6/2018-06_Interco_Pour_Les_Nuls_Bortzmeyer.pdf

Voici un bilan plus détaillé et récent (juillet 2023) de l'interconnexion des données en France fait par l'ARCEP (Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse)

<https://www.arcep.fr/cartes-et-donnees/nos-publications-chiffrees/linterconnexion-c-barometre-de-linterconnexion-de-donnees-en-france.html>

7 Modèle TCP/IP

Activité 1

Votre cousin habitant à Sydney en Australie, aime lire les romans de la littérature française.

Il vous demande de lui envoyer **par colis** un certain nombre de romans.

Vous avez fait le colis contenant les romans, et vous allez bientôt vous rendre à la Poste de Gif.

1. Quelles adresses devez vous écrire sur le colis ?
2. Une fois le colis déposé à la Poste, il va être acheminé dans différents centres de tris.
Quel est le premier tri effectué avec les colis déposés dans votre bureau de Poste (définir trois catégories, dont l'une est destination "Etranger") ?
3. Ensuite le colis sera envoyé à l'aéroport de Roissy. Là il sera routé soit vers Los Angeles , soit vers Hong-Kong, pour finalement arriver à l'aéroport de Sydney.
Imaginer les différents tris à partir de l'aéroport de Sydney.

La circulation des informations dans Internet suit le protocole ou modèle TCP/IP (pour Transport Control Protocol/ Internet Protocol) crée en 1973

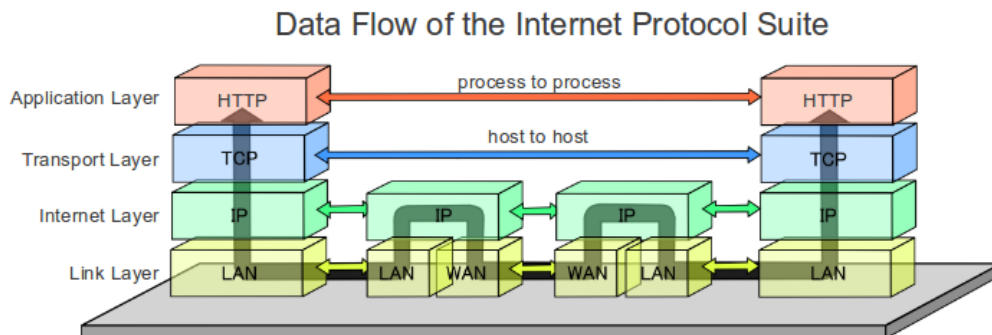


FIGURE 1 – Source :Wikipedia

1. **Une application** est un programme nous permettant par exemple de visionner une vidéo ou lire une page Web. Lorsqu'une source nous envoie une page Web, une application va transmettre le contenu de cette page à la **couche Transport** de la même manière que l'on peut s'adresser à la Poste pour transporter un colis
2. TCP (Transmission Control Protocol) qui ici est chargé de la **couche Transport** va découper le contenu probablement trop volumineux en **segments** puis étiqueter chaque segment d'un certain nombre d'informations (le destinataire , le numéro du segment, mais aussi des informations permettant de **sécuriser l'envoi** .
Ensuite TCP transmet les segments étiquetés à la couche Internet
3. IP est chargé de la **couche Internet** . IP va ajouter à chaque segment une entête de telle sorte que le segment est maintenant un paquet et IP se charge de l'acheminement des paquets de bout en bout par l'intermédiaire des **routeurs**.

Chaque routeur a une **table de routage**, mis à jour régulièrement, permettant de transmettre un paquet à un routeur voisin en fonction de la destination de ce paquet

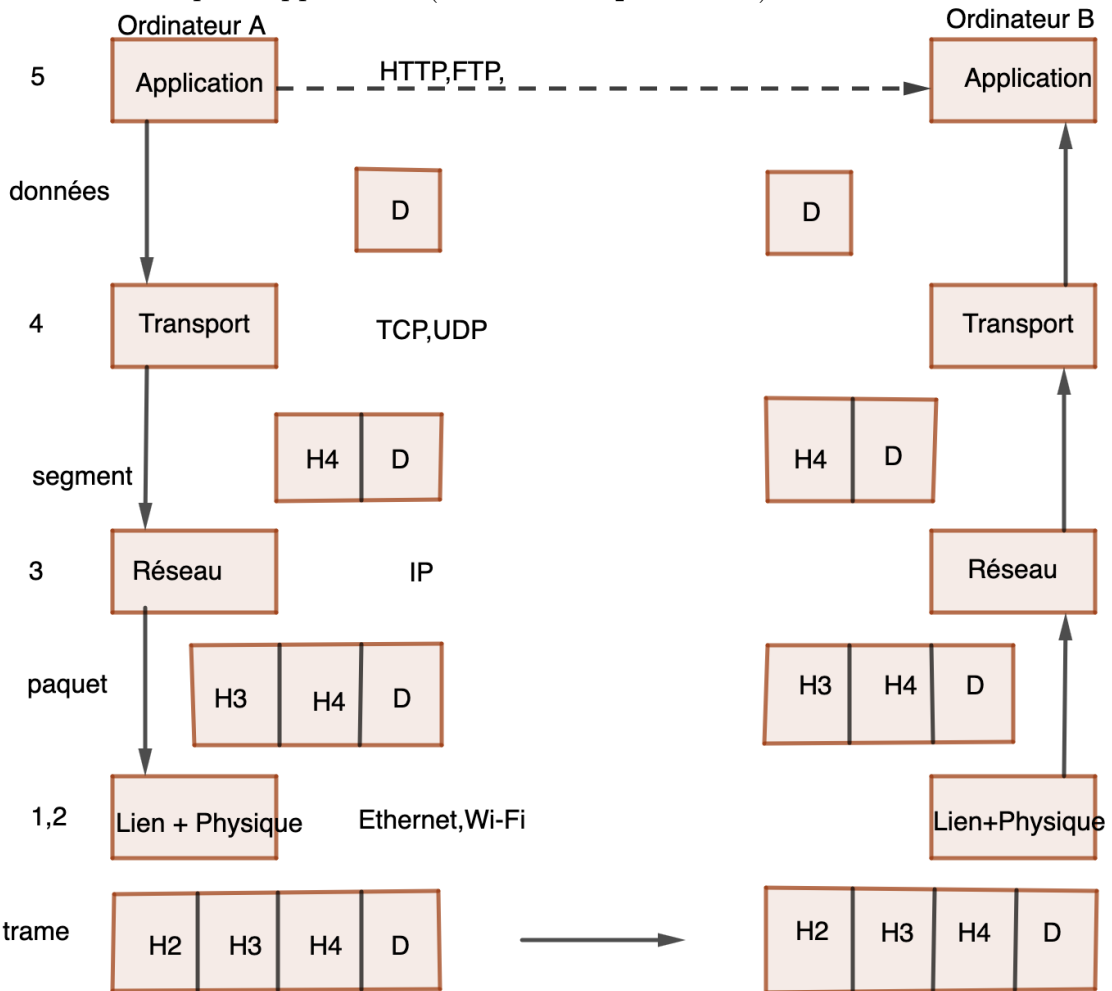
Les paquets d'un même document ne prendront pas forcément le même chemin dans Internet pour arriver à destination. IP transmet les paquets à la couche **Liaison**

4. La couche **Liaison** va ajouter une en-tête à chaque paquet de telle sorte que chaque paquet devienne une trame.

Ensuite les trames sont envoyés dans Internet par différents type de liaison (filaire ou sans fil)

Ce phénomène d'ajout d'en-têtes s'appelle l'**encapsulation**.

Arrivés à destination les en-têtes sont enlevées de la couche liaison vers la couche application et TCP se charge de mettre les segments dans l'ordre et de fournir l'information demandée par l'application (c'est la **décapsulation**)



Remarque : traceroute fait partie d'un protocole de couche 3 appelé ICMP (Internet Control Management Protocol) qui n'utilise pas les couches 4 et 5 et dont le but est de contrôler le bon fonctionnement d'Internet.

Autrement dit les informations qui circulent sur le réseau n'ont pas forcément d'en-tête des couches 4 et 5

8 Régulation Internet

Qui régule Internet ?

Un arbitrage international est fait par un certain nombre d'organismes comme :

1. L'**IETF** (Internet Engineering Task Force) (<https://www.ietf.org>) est l'auteur des **RFC** (request for comments) qui servent de références pour tous les aspects techniques d'Internet.

Un site permet de consulter toutes les RFC <https://www.rfc-editor.org>, chaque RFC est référencée par un nombre entier.

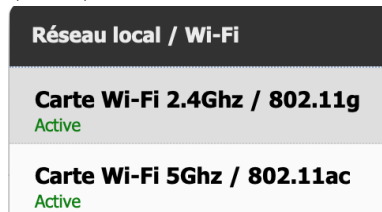
Ainsi la RFC 8200 daté de Juillet 2017 concerne le protocole IPv6.

2. L'**IANA** (Internet Assigned Numbers Authority) <https://www.iana.org> s'occupe de la distribution des adresses IP et des numéros des systèmes autonomes ainsi que des noms de domaines.

3. L'**IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) <https://www.ieee.org> définit les normes des protocoles physiques :

Ainsi la norme 802 concerne les normes de transmission à propos des réseaux locaux

- (a) La connexion filaire suit le protocole ETHERNET (norme 802.3)
- (b) La connexion wi-fi 5 suit la norme IEEE 802.11ac. On parle à l'heure actuelle (2023) de la norme IEEE 802.11ax dite wi-fi 6.



9 Cybersécurité

Toutes les couches du modèle TCP/IP ont subi des attaques. Voici quelques attaques célèbres, dont il existe des parades.

1. **Spoofing (usurpation d'identité)** : Dans un réseau, un attaquant usurpe l'adresse IP de quelqu'un d'autre soit pour propager des données malveillantes, soit pour faire une attaque par déni de service (voir plus bas) dans le but d'avoir accès à des données privées.
2. **DoS (Deny of Service) Déni de service** : Dans un réseau, un attaquant "submerge" un élément du réseau, par exemple un **commutateur** avec des trames, afin que celui-ci fonctionne en mode dégradé. Le commutateur redirige alors toutes les trames entrantes suivantes vers tous les éléments connectés sauf l'émetteur de la trame. L'attaquant peut avoir ainsi accès à des données confidentielles qui sont passées par le commutateur.
3. **ICMP Redirect** Dans un réseau local, un attaquant se fait passer pour un **routeur "passerelle"** du réseau local vers Internet en détournant une des fonctionnalités du protocole ICMP. Il peut ainsi "voir" les données circulant entre une victime dans le réseau local et une cible extérieure au réseau local.

10 Histoire

1. **Années 60 : Commutation de circuits vs Commutation de paquets** ou comment se passer du réseau téléphonique en place à la fin des années 60 basé sur la commutation de circuits et créer un nouveau réseau basé sur la commutation de paquets :

Témoignage de Leonard Kleinrock -> <https://www.youtube.com/watch?v=rHHpwcZiEW4&list=PLr3-oFRsHRaaNDSpRAZ98aEOzjZre8P05&index=4> de 2 :50 jusqu'à 6 :30

2. **1969 : Premier échange entre deux ordinateurs distants**

<https://www.youtube.com/watch?v=vuiBTJZfeo8&list=PLr3-oFRsHRaaNDSpRAZ98aEOzjZre8P05&index=5>

3. **1973 : Création du protocole TCP par Kahn et Cerf (prix Turing 2004)**

Vidéo de Vint Cerf expliquant le protocole TCP <https://www.youtube.com/watch?v=gZ1NNiI-hq0>

4. **1983 : Le protocole TCP/IP devient le seul protocole sur ARPANET qui devient Internet**

5. **1983 : Apparition du DNS (voir cours sur le Web)**

6. **1990 : Création du World Wide Web par Tim Berners-Lee (Prix Turing 2016)** au CERN de Genève

7. **1998 : Protocole IPv6**

11 Enjeux sociétaux

Peut-on encore vivre sans Internet ?

"Nous sommes à Hondschoote, une commune de quatre mille habitants dans le département du Nord. Au croisement des deux routes principales s'élève la Maison de services au public (MSAP), un bâtiment sans âme où deux fonctionnaires accueillent les habitants des environs, trop éloignés des agences publiques situées vingt kilomètres plus loin, à Dunkerque.

Il est 11 heures, ce 9 mai 2019 quand M^{me} Marie-Claude Clarys, 65 ans pousse la porte de la MSAP deux gros dossiers sous le bras. *"J'ai toujours fait mes papiers comme il faut toute ma vie, mais là j'ai l'impression qu'on est bêtes, qu'on est idiots. Ils ont tous mis obligatoirement sur Internet"...* La dématérialisation complique le quotidien de bien des habitants de cette région agricole... Pour cette retraitée (M^{me} Clarys) la déclaration des revenus sur Internet est un "cauchemar". *"Dans mon village on n'est pas au bout du monde, mais on est en bout de ligne! Internet n'a jamais bien fonctionné!"* M^{me} Clarys vit dans une zone d'ombre une des sous-catégories des zones blanches (près de 541 communes en 2018). Elle fait partie des 12,8 millions de Français qui ne disposent pas de l'Internet à haut débit (6,8 millions de personnes n'ont pas accès à Internet)

55% des plus de 70 ans n'ont pas d'accès à Internet chez eux. Un jeune de moins de 35 ans sur cinq serait également concerné... Le département du Nord totalise plus de 598 000 déconnectés (23 % de ses 2,6 millions d'habitants) Un terme assez peu subtil a fait son apparition pour désigner le fait de ne pas être équipé d'appareils

informatiques, de ne pas maîtriser leur fonctionnement ou de ne pas disposer d'une connexion : l'"illectronisme"...

Semaine après semaine, l'étau se resserre sur ces "jamais-connectés". Depuis novembre 2017, les démarches liées au permis de conduire ou à l'immatriculation des véhicules doivent impérativement être effectuées en ligne. Il en va de même pour l'inscription à Pôle emploi, à la caisse d'allocations familiales(CAF), à la caisse primaire d'assurance-maladie (CPAM) ou à la caisse de retraite, pour la souscription à Electricité de France (EDF) ou pour les demandes de bourse étudiante; pour la déclaration des revenus, les réfractaires bénéficient d'une dernière année de clémence. Qu'il s'agisse de réserver une table dans un restaurant ou une nuit dans un hôtel, d'acheter une place pour un spectacle ou pour une rencontre sportive la dématérialisation s'étend jour après jour. Une société sans contact se profile, avec des millions de citoyens confrontés de force à des écrans

D'ici à 2022 tous les services publics seront dématérialisés. Les économies sont prometteuses. *"Sachant qu'un citoyen effectue en moyenne six formalités par an , le passage au tout numérique représenterait pour les caisses de l'Etat une économie de 64 euros par usager, soit un gain total de 450 millions d'euros"* d'après un journaliste de France-Info. Cependant plus de 9 milliards d'euros vont être déboursés pour parvenir à l'Etat numérique intégral précise un journaliste de la Tribune...

Des guichets vides d'humains, laissant les usagers seuls face à des bornes informatiques : c'est déjà la réalité dans de nombreux services publics. Au Pôle emploi de Dunkerque *des gens qui ne savent pas se servir de l'outil informatique, il n'y a que ça tous les matins* raconte M^{me} Camille S, une volontaire de 22 ans qui a obtenu cette mission de service civique, sans contrat de travail, en venant postuler dans cette même agence...Ce 2 mai 2019...un homme tremble en remplissant son formulaire de réinscription à Pôle emploi. *"Je me suis fait radier parce que j'avais oublié de m'actualiser"* souffle Teddy N. un jeune homme obligé d'en passer par l'étape de réinscription sur ordinateur. On se croirait dans le film de Ken Loach *Moi, Daniel Blake* (2016)...

(Julien Brygo - le monde diplomatique Août 2019)

Questions

1. Combien y-a-t-il d'acronymes de 3 lettres comme NSI, SNT, RER etc.. et de 4 lettres?(comme MSAP, SNCF, etc..)
2. En utilisant une application comme Google maps, trouver la localisation de la Maison de services au public de Hondschoote. Quelles sont les deux routes principales ?
3. Quelle est la distance en kms entre Hondschoote et Dunkerque? Entre Hondschoote et la frontière belge ?
4. Quelle est la différence entre Internet et le Web ?
5. Qu'est ce qu'une zone blanche? Qu'est ce qu'une zone d'ombre ?

<https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-reseaux-mobiles/la-couverture-mobile-en-metropole/la-couverture-des-zones-peu-denses.html#c22878>

6. Convertir la fraction $\frac{1}{5}$ en pourcentage et comparer la proportion des plus de 70 ans n'ayant pas accès à internet à celle des moins de 35 ans n'ayant pas accès à

internet

7. De quel terme dérive le mot "illectronisme" ?
8. Donner d'autres exemples de dématérialisation des services
9. Expliquer le calcul *...64 euros par usager, soit un gain total de 450 millions d'euros*
10. Supposons que l'Etat débourse 9 milliards pour arriver au tout numérique. Supposons qu'à partir de 2022 l'Etat économise 450 millions d'euros par an , au bout de combien d'années cela deviendra rentable pour l'Etat ?
11. De quelle type de média est France-Info ?
12. A quel type de journalisme appartient le journal La Tribune ?
13. Qu'est ce que le service civique ?
14. Citer d'autres films de Ken Loach ?
15. Quels sont les avantages et les inconvénients d'après vous d'une société entièrement "numérisée" ?

12 Exercices

Ex 1

Demandez à vos parents de pouvoir avoir accès à l'interface de votre box et de pouvoir voir les informations du réseau local

Ex 2

Citer au moins trois autres machines connectées à la box

Ex 3

Faire l'expérience suivante au lycée lorsque vous êtes connecté en mode wi-fi

1. Allez dans la console Windows de votre ordinateur portable
2. Entrez la commande `ipconfig`
3. Relevez l'adresse MAC de la carte réseau wi-fi
4. Relevez les adresses IPv4 et IPv6

Ex 4

Faire l'expérience suivante chez vous lorsque vous êtes connecté en mode wi-fi et en mode filaire

BLOG WIKI LIVRE

Vous utilisez IPv6, bravo !

(Utiliser au moins deux navigateurs Web, il est possible que vous n'ayez pas la même information suivant le navigateur utilisé)

Ex 8

1. Comment récupérer l'adresse MAC wi-fi de votre smartphone ?
2. Est ce que la connexion de mon smartphone par wi-fi ou par données cellulaire se fait avec la même adresse MAC ?
3. Est ce que la connexion de mon smartphone par wi-fi ou par Bluetooth se fait avec la même adresse MAC ?

Ex 9

Chez vous, aller sur ce site <https://www.monippublique.com/> et relever votre adresse IPv4 publique

Ex 10

Le serveur d'adresse IPv4 publique 202.158.196.134 se trouve en Australie

1. Faire un **tracert** ou **traceroute** à cette adresse
2. A l'aide du site <https://stat.ripe.net/ui2013/> relever les différents AS traversés

Ex 11

On peut au lieu de donner une adresse IP donner un **nom de domaine** à la commande **tracert**

Par exemple le site du journal Le Monde a pour URL (Uniform Resource Locator) (<https://www.lemonde.fr>) et le nom de domaine est lemonde.fr

On peut donc exécuter **tracert lemonde.fr** sans connaître l'adresse IP d'un des serveurs du site

1. Utiliser un moteur de recherche comme Google et chercher le nom de domaine du musée des sciences de Munich puis faire un tracert sur le nom de domaine
2. A l'aide du site <https://stat.ripe.net/ui2013/> relever les différents AS traversés

Ex 12

Qui est le fournisseur d'accès Internet du réseau où s'est connecté la machine sur laquelle a été fait la commande **traceroute fr.wikipedia.org** ?

```
% traceroute fr.wikipedia.org
traceroute to rr.knams.wikimedia.org (145.97.39.155), 30 hops max, 38 byte packets
 1 80.67.162.30 (80.67.162.30) 0.341 ms 0.300 ms 0.299 ms
 2 telehouse2-gw.netaktiv.com (80.67.170.1) 5.686 ms 1.656 ms 0.428 ms
 3 giga.gitoyen.net (80.67.168.16) 1.169 ms 0.704 ms 0.563 ms
 4 62.4.73.27 (62.4.73.27) 2.382 ms 1.623 ms 1.297 ms
 5 ge5-2.mpr2.cdg2.fr.above.net (64.125.23.86) 1.196 ms ge9-4.mpr2.cdg2.fr.above.net
(64.125.23.102) 1.290 ms ge5-1.mpr2.cdg2.fr.above.net (64.125.23.82) 30.297 ms
 6 so-5-0-0.cr1.lhr3.uk.above.net (64.125.23.13) 41.900 ms 9.658 ms 9.118 ms
 7 so-7-0-0.mpr1.ams5.nl.above.net (64.125.27.178) 23.403 ms 23.209 ms 23.703 ms
 8 64.125.27.221.available.above.net (64.125.27.221) 19.149 ms
so-0-0-0.mpr3.ams1.nl.above.net (64.125.27.181) 19.378 ms
64.125.27.221.available.above.net (64.125.27.221) 20.017 ms
 9 PNI.Surfnet.ams1.above.net (82.98.247.2) 16.834 ms 16.384 ms 16.129 ms
10 af-500.xsr01.amsterdam1a.surf.net (145.145.80.9) 21.525 ms 20.645 ms 24.101 ms
11 knsw001-router.customer.surf.net (145.145.18.158) 20.233 ms 16.868 ms 19.568 ms
12 gi0-24.csw2-knams.wikimedia.org (145.97.32.29) 23.614 ms 23.270 ms 23.574 ms
13 rr.knams.wikimedia.org (145.97.39.155) 23.992 ms 23.050 ms 23.657 ms
```

Ex 13

Quand on parle des GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft) comme des géants du Net on mélange beaucoup de domaines.

En effet ces entreprises doivent leur réussite au début dans des domaines très différents, par exemple Apple a plutôt développé des machines (ordinateurs, smartphones) alors que Google a réussi au départ grâce à son moteur de recherche du même nom.

Il est vrai que maintenant ces entreprises se sont diversifiées et investissent dans beaucoup d'autres domaines.

1. Font elles partie des AS de premier rang? (comme Arelion, Cogent ou Orange)
2. Est ce que Netflix est un AS?

Ex 14

Citer les 4 couches du modèle TCP/IP et pour chaque couche citer au moins un protocole

Ex 15

Chaque premier avril l'IETF publie des RFC humoristiques.

Ainsi Le 1er avril 1990 la RFC 1149 décrit un nouveau protocole IP, le protocole IPoAC (IP over Avian Carriers), un protocole IP basé sur les pigeons voyageurs!

Lire ici <https://www.rfc-editor.org> le contenu de cette RFC

Ex 16

Le but de l'exercice est de comprendre la communication entre un ordinateur et une imprimante dans un réseau local où le commutateur est la box.

1. Une fois allumée l'imprimante sollicite la box pour obtenir un bail.

[804269000000](#)

74:BF:C0:80:42:69
192.168.0.27



Quelle est l'adresse IP de l'imprimante? Quelle est l'adresse MAC?

2. L'ordinateur va entrer en communication avec l'imprimante pour lancer le travail d'impression via la box. Pour cela il doit connaître absolument l'adresse MAC de l'imprimante.

Vérifier qu'il a bien cette information dans sa table de routage (en0 signifie que la communication se fait en wi-fi) :

```
MacBook-Pro-de-vallon:~ vallon$ netstat -rn -A inet6
Routing tables

Internet:
Destination      Gateway           Flags             Netif  Expire
default          192.168.0.254    UGSc              en0
127              127.0.0.1       UCS              lo0
127.0.0.1        127.0.0.1       UH               lo0
169.254          link#4           UCS              en0    !
192.168.0        link#4           UCS              en0    !
192.168.0.27    74:bf:c0:80:42:69 UHLWI            en0    1006
```

3. On aimerait avoir les en-têtes des trames ainsi que leur taille envoyés de l'ordinateur vers l'imprimante pour le travail d'impression

On a capturé une trame (Frame 587) avec un logiciel de capture **wireshark** installé sur l'ordinateur

```
> Frame 587: 1514 bytes on wire (12112 bits), 1514 bytes captured (12112 bits) on interface 0
> Ethernet II, Src: Apple_18:68:79 (a0:99:9b:18:68:79), Dst: Canon_80:42:69 (74:bf:c0:80:42:69)
> Internet Protocol Version 6, Src: fe80::148b:4349:5a12:28b4, Dst: fe80::76bf:c0ff:fe80:4269
> Transmission Control Protocol, Src Port: 57292, Dst Port: 631, Seq: 137516, Ack: 5332, Len: 1440
> Internet Printing Protocol
```

Quel est la taille en octets de la trame 587 ?

Donner dans l'ordre en commençant par Ethernet II la suite des en-têtes

4. Dans cette trame, (voir image ci-dessous) la taille des données est de 1431 octets, encapsulée dans un protocole **IPP (Internet Printing Protocol)** de la couche Application

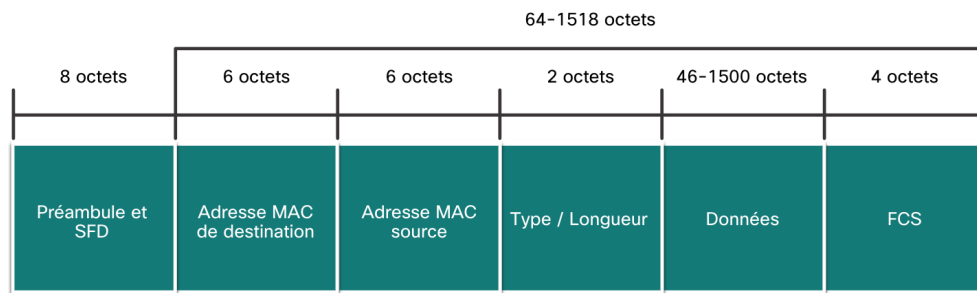
Quelle est la taille de toutes les en-têtes (wi-fi + IPv6 + TCP) ?

```
> Transmission Control Protocol, Src Port: 57292, Dst Port: 631, Seq: 137516, Ack: 5332, Len: 1440
  > Internet Printing Protocol
    version: 114.40
    operation-id: Unknown (0x33fa)
    request-id: 4232626492
    end-of-attributes-tag
  > Data (1431 bytes)
    Data: 3ed15fc1ec4635baf2f20c1ea1242c7cbd901db161aa4c1a...
    [Length: 1431]

0050  c1 3c 03 3e d1 5f c1 ec 46 35 ba f2 f2 0c 1e a1  <.>._... F5.....
0060  24 2c 7c bd 90 1d b1 61 aa 4c 1a 00 0e 2d 0b 36  $,|...a.L...-6
0070  a2 ef c8 e9 ba 7f 33 89 92 49 96 53 8b b1 df 44  .....3. .I.S..D
0080  af fa 52 c3 28 25 c4 67 a2 96 2c cb 3a 45 21 38  ..R.(%g .., :E!8
0090  4f 14 a4 6c 6a 03 cd 73 fb 08 28 39 35 3a 9e f4  0..lj..s ..(95:..
00a0  a4 67 02 8f 15 9c 3b ab 5f b3 e7 e7 f4 6e db 8d  .g.....; ..n..
00b0  50 39 bc ca 0b ef cd 86 2d fc 7f 5b f8 0f 76 6a  P9..... -..[.vj
00c0  00 06 d4 f4 41 47 bf fb bc 65 eb 82 2d a3 68 c6  ....AG...e...h
00d0  d7 a6 17 34 4f 64 73 f5 f3 17 60 39 e0 ce ed 80  ...40ds. ..9...
00e0  47 ed d0 06 e3 80 f7 a1 a7 09 e4 35 97 1c 5e 79  G..... ..5..^y
00f0  c0 f8 03 d5 3a 85 4b 71 92 9d 79 cc 18 e2 7d b3  ...:Kq ..y...}
0100  44 32 63 de d3 75 c6 b7 26 d4 ab a2 70 34 90 00  D2c..u.. &...p4..
```

5. La taille de l'en-tête Ethernet II (wi-fi) est de 14 octets, celle de IPv6 est de 40 octets et celle de TCP 20 octets, ce qui fait en tout 74 octets

Comment expliquer la différence ?



En général une trame fait 1518 octets (voir image ci-dessous) avec 4 octets constituant une somme de contrôle (FCS) pour vérifier l'intégrité de la trame après transmission. Manifestement **wireshark** n'en a pas tenu compte puisqu'il donne comme taille de la trame 1514 octets.

Dans la RFC 2910 à propos du protocole IPP, le paquet de données est précédé d'un certain nombre d'informations à propos du protocole IPP, quelle est la taille de ces informations ?

version-number	2 bytes - required
operation-id (request) or status-code (response)	2 bytes - required
request-id	4 bytes - required
attribute-group	n bytes - 0 or more
end-of-attributes-tag	1 byte - required
data	q bytes - optional