

Cours sur les réseaux informatiques

Thème architectures matérielles et systèmes d'exploitation

Première NSI, Lycée du Parc

Table des matières

Crédits	1
1 Réseau informatique	1
1.1 Histoire	1
1.2 Terminologie et classification des réseaux	3
2 Le modèle en couches	5
2.1 Découpage des données en paquets	5
2.2 Modèle en couches et encapsulation des données	7
2.3 La couche liaison du modèle TCP/IP	8
2.4 La couche réseau, ou internet, du modèle TCP/IP	12
2.5 La couche transport du modèle TCP/IP	19
2.6 La couche application du modèle TCP/IP	22
3 Étude d'un protocole de récupération de paquet	27
3.1 Le protocole du bit alterné	27
3.2 Applications	29

Crédits

Ce cours est largement inspiré du chapitre 26 au manuel NSI de la collection Tortue chez Ellipse, auteurs : Ballabonski, Conchon, Filliatre, N'Guyen. Ce document est aussi constitué de nombreux emprunts à des ressources en ligne proposées par les collègues du lycée La Martinière Diderot de Lyon, Romain Janvier, David Roche ou Sébastien Sauvage. Il manque des crédits photographiques, merci de me contacter en cas de problème.

1 Réseau informatique

1.1 Histoire



Histoire 1

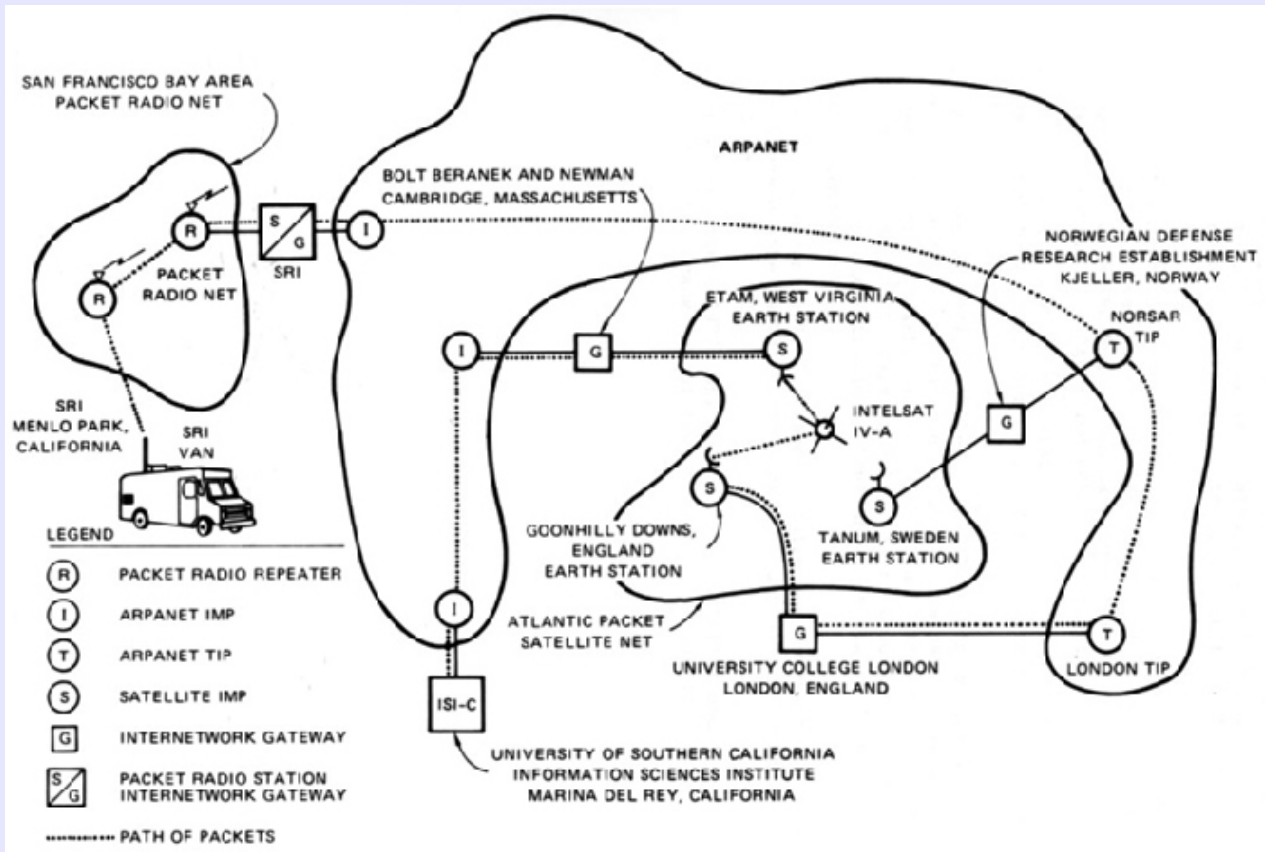
Il existait déjà des réseaux locaux reliant directement des ordinateurs dans les années 1950.

À partir des années 1960, des chercheurs ont réfléchi à la problématique de l'interconnexion de réseaux hétérogènes.

Le principe de la **transmission de paquets** est introduit par [Paul Baran et Davies](#) en 1961 : il consiste à découper les données en paquets, ce qui permet de transmettre à débit variable (un courriel nécessite l'envoi ponctuel de petits paquets alors que pour transférer un fichier, il faut envoyer rapidement de gros paquets).

[Arpanet](#), le projet de réseau interuniversitaire financé par *l'Arpa* (agence de recherche de la défense américaine) , voit le jour en 1969 sous la direction de [Leonard Kleinrock](#) : les données sont découpées en paquets, transmis en séquence les uns à la suite des autres.

Dans les années 70, [Louis Pouzin](#), après un séjour au MIT, développe en France le réseau *Cyclades* qui est le premier véritable réseau à **commutation de paquets**: les paquets transitent de façon indépendante dans le réseau grâce à un protocole qui préfigure [Internet Protocol](#) puis sont remis en l'ordre à l'arrivée. Le circuit des paquets est donc variable contrairement à la **commutation de circuits** implémentée dans le réseau téléphonique.



Source : *Interstices*

Aux États-Unis, [Vinton Cerf et Robert Kahn](#) s'inspirent des idées de Pouzin et inventent les

protocoles **IP** et **TCP**. L'interconnexion des réseaux Arpanet et Csetnet en 1983 avec **TCP/IP** marque la naissance d'Internet et son expansion au niveau mondial dans les sphères universitaires et de la recherche.

En 1989, **Tim Berners-Lee** invente le **Web**, qui est une application de documents hypertexte s'exécutant par-dessus le réseau **Internet**. L'ouverture des protocoles Web au grand public en 1993 connaît un succès fulgurant, d'autres services Internet comme le Mail ou le transfert de fichier de Pair à pair se popularisent aussi et le trafic Internet explose : de quelques Megabits par secondes en 1992, on est passé à près de 100 Terabits par seconde en 2018 avec près de 3,2 milliards d'internautes en 2016.

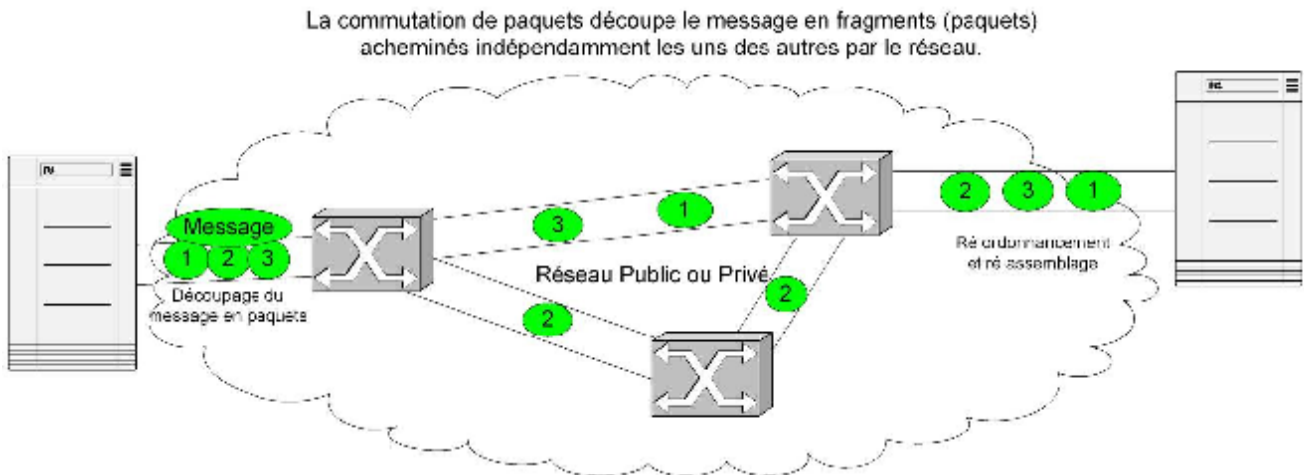


Figure 1: Commutation de paquets

1.2 Terminologie et classification des réseaux



Définition 1

1. Un **réseau** est un ensemble de *noeuds* reliés par des *liens*, qui correspond mathématiquement à un *graphe*. Dans un **réseau informatique** les *noeuds* ou *hôtes* sont des équipements informatiques comme des ordinateurs, des routeurs ... et les *liens* peuvent être variés selon la technologie utilisée : filaire (Ethernet, ...) ou par ondes (Wifi, ...).
2. Une **interface** est le point de raccordement, matériel (carte réseau) ou logiciel, entre un *lien* et un *noeud*.
3. Un **protocole** est un ensemble de règles permettant d'établir une communication entre deux noeuds du réseau et de garantir éventuellement certains services (fiabilité, confidentialité ...)
4. Un **service réseau** est une *application* capable de communiquer en réseau et proposant des fonctionnalités. Par exemple, un service Web peut fournir des pages Web au navigateur d'un client. Sur un réseau pédagogique de lycée, un service de gestion et de partage de fichiers permet aux utilisateurs d'accéder à leurs fichiers depuis n'importe quel machine cliente.
5. Un **serveur** désigne un matériel ou un logiciel exécutant un **service réseau**. Il fournit un service

à des **clients** selon une **architecture client / serveur**. Pour une présentation de l'architecture client-serveur, on pourra visionner cette [video](#).

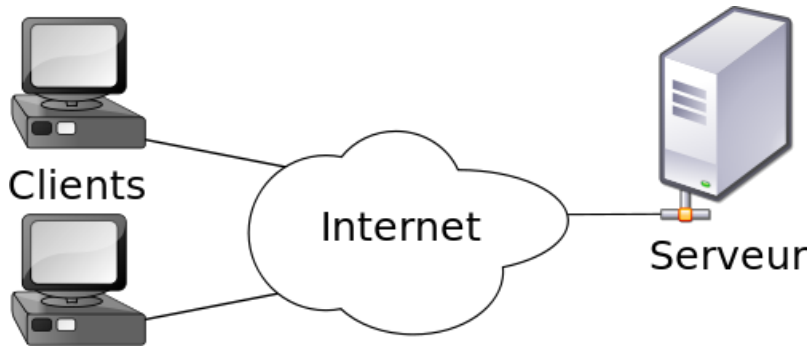


Figure 2: Architecture client / serveur (Wikimedia Commons)



Point de cours 1

- Les réseaux informatiques peuvent être de différentes tailles :
 - Les *réseaux locaux* ou **Local Area Network (LAN)** limités à une zone géographique restreinte (maison, entreprise, lycée ...)
 - Les *réseaux étendus* ou **Wide Area Network (WAN)** couvrant de vastes zones géographiques (pays, continent). Ce sont, par exemple, les réseaux des fournisseurs d'accès internet (Free, Orange, SFR...), de grandes sociétés...
 - **Internet est une interconnexion mondiale de réseaux**
- Les réseaux informatiques utilisent des liens de technologies diverses :
 - Des **liaisons filaires** :
 - * *câbles à paires torsadées* utilisées avec le protocole de liaison Ethernet dans les **LAN** : sensibles aux interférences électromagnétiques même s'ils sont blindés, leur portée maximale est de 200 mètres avec un débit maximal de 1 Gb/s ;
 - * *fibres optiques* utilisées pour les interconnexions de réseau (dont les câbles sous-marin pour les liaisons intercontinentales) avec un débit de plusieurs Gb/s et des contraintes de portée réduites (sauf pour l'hypertrading des places financières !)
 - Des **liaisons par ondes** : Wifi, Bluetooth, Satellite, 4G ...
- L'interconnexion dans l'Internet de tous ces réseaux hétérogènes sur le plan matériel, a été rendu possible par le développement de **protocoles logiciels**. Pour une présentation globale d'Internet, on pourra visionner cette [video](#).



Exercice 1

QCM type E3C

1. Un protocole est un ensemble de ...
 - **Réponse A** : matériels connectés entre eux

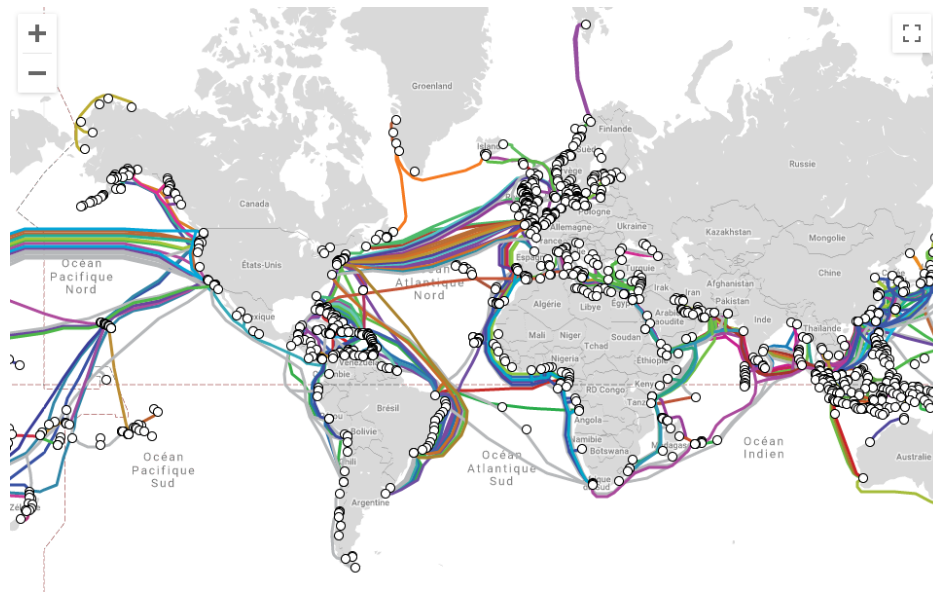


Figure 3: Cartes des câbles sous-marins : <https://www.submarinecablemap.com/>

- **Réponse B** : serveurs et de clients connectés entre eux
 - **Réponse C** : règles qui régissent les échanges entre équipements informatiques
 - **Réponse D** : règles qui régissent les échanges entre un système d'exploitation et les applications
2. Comment s'appelle l'ensemble des règles qui régissent les échanges sur Internet ?
- **Réponse A** : les couches
 - **Réponse B** : le wifi
 - **Réponse C** : les protocoles
 - **Réponse D** : les commutateurs
3. L'architecture client-serveur :
- **Réponse A** : est un mode de communication entre programmes
 - **Réponse B** : est une architecture matérielle de coopération entre machines
 - **Réponse C** : est un mode de communication entre routeurs
 - **Réponse D** : est un mode de communication entre commutateurs

2 Le modèle en couches

2.1 Découpage des données en paquets



Point de cours 2

Dans un réseau informatique, si on veut transmettre une image de plusieurs Méga octets, on n'envoie pas les données en un seul bloc mais on les découpe en paquets plus petits qui sont transmis séparément. Ainsi, il n'est pas nécessaire de tout retransmettre en cas d'erreur. De plus cela réduit les risques d'encombrement ou de blocage des liens.

Ce principe de **découpage des données en paquets** s'appelle le **multiplexage**.



Réseau sans multiplexage : canal bloqué (source : <https://www.isnbreizh.fr>)



2.2 Modèle en couches et encapsulation des données



Point de cours 3

L'interconnexion de réseaux hétérogènes et éloignés géographiquement nécessite de gérer des problématiques à plusieurs niveaux :

1. la liaison physique entre deux *noeuds* / *hôtes* du réseau ;
2. l'interconnexion entre deux réseaux locaux ;
3. la transmission fiable des données ;
4. la communication entre une application s'exécutant sur un client et un service réseau sur un serveur.

Les recherches et les expériences menées dans les années 60/70 sur les réseaux informatiques ont conduit au développement de solutions basées sur une **architecture en pile de protocoles logiciels**. Les problèmes ont été séparés en **couches**. Le **modèle OSI** comporte sept couches, c'est un modèle théorique et normalisé qui permet d'encadrer la création de nouveaux protocoles. En pratique, Internet s'appuie sur le **modèle TCP/IP** en quatre couches correspondant aux quatre niveaux de problèmes précités. De la couche la plus basse à la plus haute on distingue :

1. la *couche liaison*
2. la *couche réseau*
3. la *couche transport*
4. la *couche application*

Lorsqu'un hôte A du réseau communique avec un hôte B, chaque couche de protocole sur l'émetteur communique avec la couche de même niveau chez le destinataire.

Chaque couche ajoute des *metadonnées* aux données du message, qui sont encapsulées les unes dans les autres. C'est le principe d'**encapsulation des données**.

Lors de l'émission le message par l'hôte A, les couches s'exécutent de haut en bas pour l'encapsulation :

- un protocole de la *couche application* encapsule le message avec un entête contenant ses *metadonnées* et transmet *application(message)* à la couche inférieure
- puis un protocole de la *couche transport* ajoute son entête : *transport(application(message))*
- puis un protocole de la *couche réseau* fait de même : *réseau(transport(application(message)))*
- et enfin un protocole de la *couche liaison* transmet le message sur le support avec un dernier entête : *liaison(réseau(transport(application(message))))*

À réception du message par l'hôte B, les couches d'exécutent en ordre inverse pour désencapsuler le message :

- un protocole de la *couche liaison* extrait et analyse l'entête *liaison* ajouté par son homologue et transmet *réseau(transport(application(message)))* à la couche supérieure
- un protocole de la *couche réseau* extrait et analyse l'entête *réseau* ajouté par son homologue et transmet *transport(application(message))* à la couche supérieure

- de même un protocole de la couche *transport* extrait un entête et transmet *application(message)* à la couche supérieure *application*
- un protocole de la couche *application* extrait le dernier entête et transmet le *message* à l'application destinataire.

Dans ces deux phases, on voit qu'un protocole doit pouvoir communiquer avec un protocole de couche immédiatement inférieure ou supérieure par le biais d'une **interface**.

L'encapsulation des données permet d'isoler les fonctionnalités et de développer indépendamment les protocoles de différentes couches.

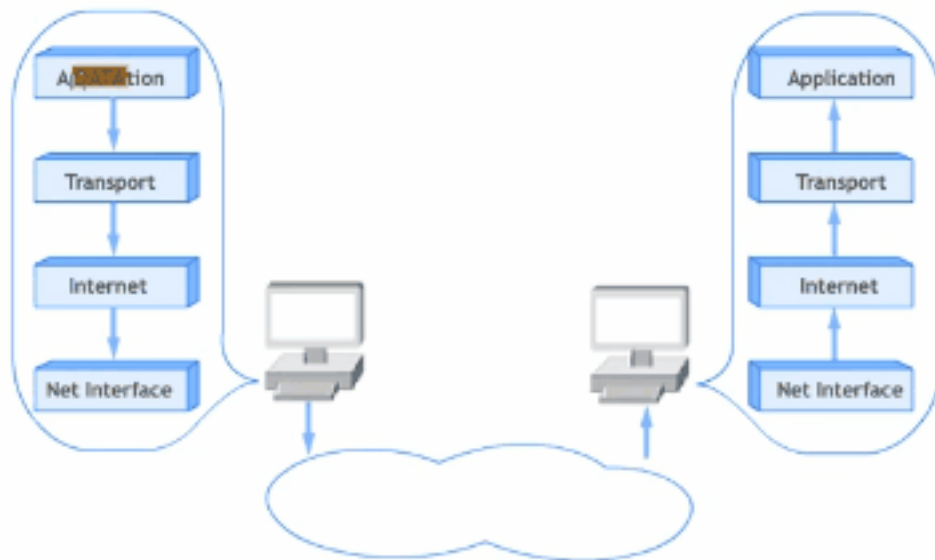


Figure 4: Encapsulation des données



Exercice 2

QCM type E3C

Quel est le principe de l'encapsulation des données dans un réseau informatique ?

- **Réponse A** : Cacher les données afin que l'on ne puisse pas les lire
- **Réponse B** : Mettre les données les unes à la suite des autres
- **Réponse C** : Inclure les données d'un protocole dans un autre protocole
- **Réponse D** : Chiffrer les données afin que l'on ne puisse pas les lire

2.3 La couche liaison du modèle TCP/IP

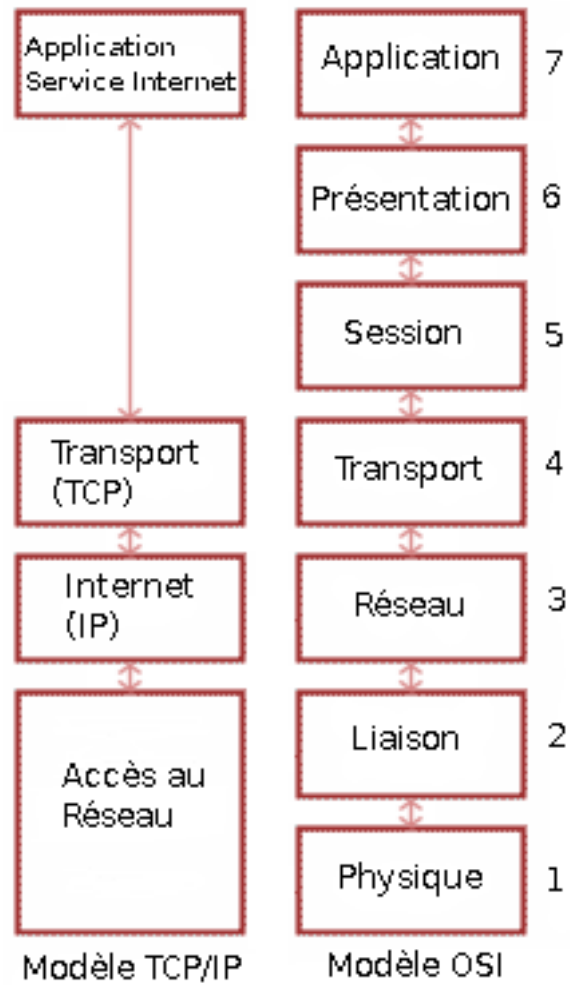


Figure 5: Modèles en couches : OSI et TCP/IP

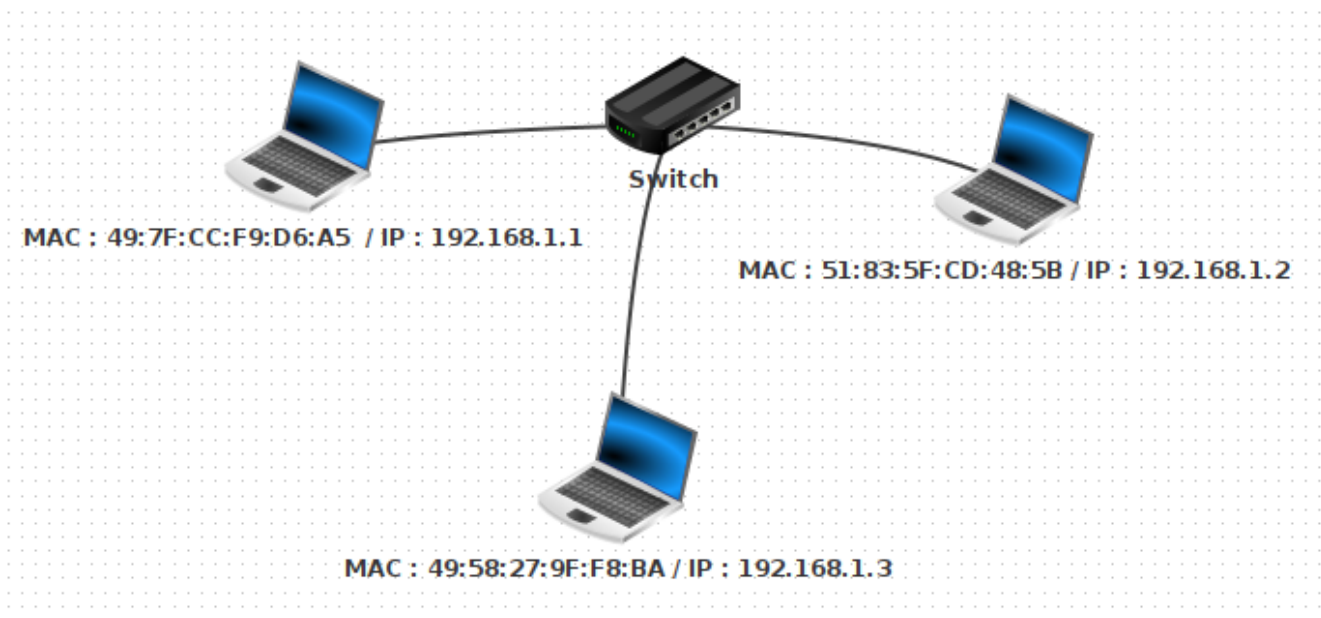


Figure 6: Un réseau local Ethernet avec 3 hôtes et un switch

Activité 1

1. Ouvrir avec le logiciel *Filius* le fichier `lan2.flis`. Quels sont les équipements présents dans



ce réseau ? Sélectionner le mode *construction*. Faire un clic droit sur chacune des machines du réseau, sélectionner *Configurer* et noter leur adresse MAC. Il s'agit d'un identifiant pour chaque matériel constitué de 6 paquets de 8 bits codés en base 16, séparés par le symbole `:`.

2. Écrire une fonction Python qui prend en paramètre une adresse MAC sous forme de chaîne de caractères et renvoie la traduction de chaque paquet sous la forme d'un tableau de 6 entiers en base 10.



3. Sélectionner le mode *simulation*. Faire un clic droit sur la machine d'adresse IP `192.168.1.1` pour afficher le bureau, ouvrir une fenêtre de ligne de commandes et saisir la commande `ping 192.168.1.2` qui envoie successivement quatre paquets de données pour tester la liaison avec la machine d'adresse IP `192.168.1.2`. Sélectionner l'affichage des échanges de données avec un clic droit sur la machine `192.168.1.1`.
4. Déplier le détail du premier paquet de données dans l'historique des échanges. *Filius* appelle *Réseau* la couche *liaison* du modèle TCP/IP et *internet* la couche *réseau*. Quel protocole a généré l'entête de la couche *internet* ? Quel message est transmis ? Déterminer l'émetteur et le destinataire de ce paquet de données et comment ils sont repérés.

No.	Date	Source	Destination	Protocole	Couche	Commentaire
1	10:54:24...	192.168.1.1	192.168.1.2	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée à 192.168.1.2, 19...
2	10:54:24...	192.168.1.2	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.2: 51:83:5F:CD:48:5B
3	10:54:24...	192.168.1.1	192.168.1.2	ICMP	Internet	ICMP Echo Request (ping) TTL: 64, Seq. Nr.: 1

No.: 1 / Date: 10:54:24.251

- Réseau
 - Source: 49:7F:CC:F9:D6:A5
 - Destination: FF:FF:FF:FF:FF:FF
 - Commentaire: 0x806
- Internet
 - Source: 192.168.1.1
 - Destination: 192.168.1.2
 - Protocole: ARP
 - Commentaire: Recherche de l'adresse MAC associée à 192.168.1.2, 192.168.1.1: 49:7F:CC:F9:D6:A5

5. Déplier le détail du second paquet de données et répondre aux mêmes questions.

No.	Date	Source	Destination	Protocole	Couche	Commentaire
1	10:54:24...	192.168.1.1	192.168.1.2	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée à 192.168.1.2,
2	10:54:24...	192.168.1.2	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.2: 51:83:5F:CD:48:5B
3	10:54:24...	192.168.1.1	192.168.1.2	ICMP	Internet	ICMP Echo Request (ping) TTL: 64, Seq. Nr.: 1

No.: 2 / Date: 10:54:24.251

- Réseau
 - Source: 51:83:5F:CD:48:5B
 - Destination: 49:7F:CC:F9:D6:A5
 - Commentaire: 0x806
- Internet
 - Source: 192.168.1.2
 - Destination: 192.168.1.1
 - Protocole: ARP
 - Commentaire: 192.168.1.2: 51:83:5F:CD:48:5B



Point de cours 4

La couche *liaison* du **modèle TCP/IP** rassemble les protocoles permettant d'établir une connexion physique directe, par la même technologie, de deux hôtes d'un même réseau local (**LAN**).

Les protocoles les plus courants de cette couche sont **Ethernet** pour une liaison filaire et **Wifi** pour une liaison par ondes.

Dans les deux cas, chaque hôte est identifié par une **adresse MAC**, parfois nommée **adresse physique**. C'est un identifiant physique stocké dans une carte réseau ou une interface réseau similaire. À moins qu'elle n'ait été modifiée par l'utilisateur, elle est unique au monde.

Elle est constituée de 48 bits réparties en 6 octets représentés en notation hexadécimale et séparés par le caractère **:** comme par exemple **fc:f8:ae:31:cb:67**.

Les hôtes d'un même réseau **Ethernet** (clients ou serveurs), sont reliés par une sorte de multiprise

appelée **commutateur** ou **switch**, capable d'identifier l'adresse **MAC** de l'hôte relié à l'une de ses prises.

Le protocole **ARP** permet à un hôte émetteur de découvrir l'adresse **MAC** de son destinataire, à travers la diffusion d'une demande en **broadcast**, dénotée par l'adresse **FF:FF:FF:FF:FF:FF** à l'ensemble des hôtes du réseau local.

Exercice 3

QCM type E3C

Parmi les adresses suivantes, laquelle est une adresse Ethernet non valide ?

- Réponse A : 8D:A9:D5:67:E6:F3
- Réponse B : 8d:a9:d5:67:e6:f3
- Réponse C : 8H:A9:D5:67:E6:F3
- Réponse D : FF:A9:D5:67:E6:F3

2.4 La couche réseau, ou internet, du modèle TCP/IP

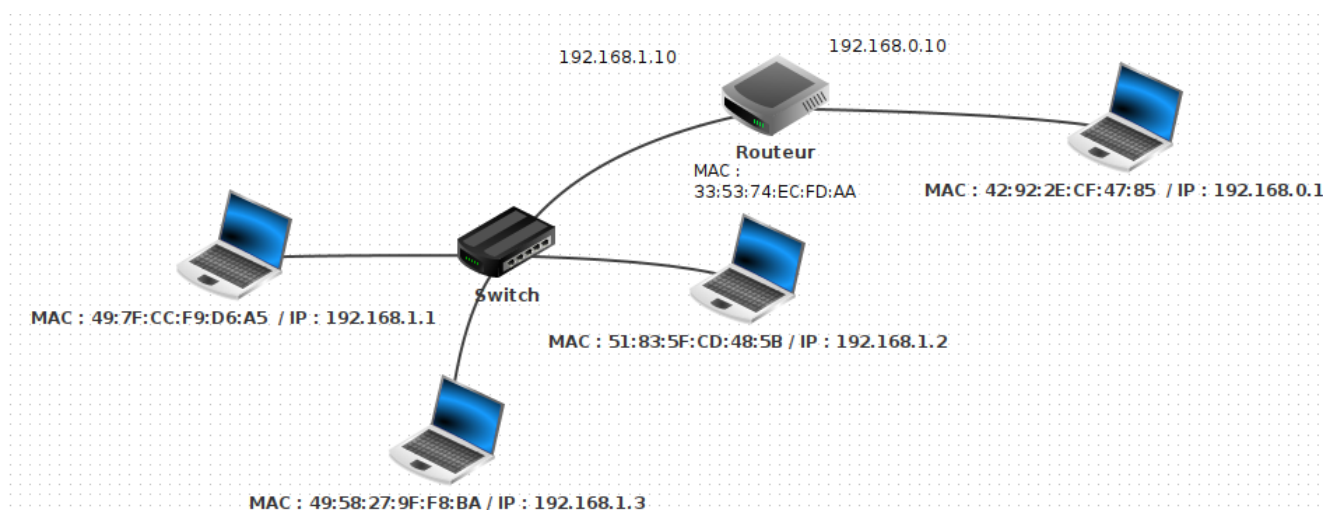
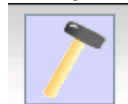


Figure 7: Une interconnexion de réseau avec un routeur

Activité 2

1. Ouvrir avec le logiciel **Filius** le fichier `wlan1.flis`. Quels sont les équipements présents dans



ce réseau ? Sélectionner le mode *construction*. Faire un clic droit sur chacune des machines du réseau, sélectionner *Configurer* et noter leurs adresse IP. Il s'agit d'un identifiant de 32 bits constitué de quatre octets notés en base dix (valeurs entre 0 et 255) séparés par le

symbole .



2. Sélectionner le mode *simulation* Faire un clic droit sur la machine d'adresse IP 192.168.1.1 pour afficher le bureau, ouvrir une fenêtre de ligne de commandes et saisir la commande `ping 192.168.0.1` qui envoie successivement quatre paquets de données pour tester la liaison avec la machine d'adresse IP 192.168.0.1. Sélectionner l'affichage des échanges de données avec un clic droit sur la machine 192.168.0.1.
3. Pour les quatre premiers paquets de données échangées, noter les adresses MAC et IP de l'émetteur et du destinataire et déterminer la fonction de chaque message.
4. Recommencer l'opération mais en testant la liaison entre les hôtes 192.168.1.1 et 192.168.1.2. Quelles différences peut-on noter ?
5. Dans une interconnexion de réseau, chaque interface est identifiée de façon unique par son adresse IP. Les adresses IP de la forme 192.168.1.X correspondent à des interfaces qui sont dans le même réseau local, les adresses IP de la forme 192.168.0.X dénotent un autre réseau local. Ces deux réseaux sont interconnectés par un **routeur**.
 - Quelle est la particularité du **routeur** ?
 - Si on compare une interconnexion de réseau comme Internet au réseau postal, quelle analogie peut-on faire pour une adresse IP ?
6. Passer en mode construction et afficher les configurations des hôtes d'adresses IP 192.168.1.1 et 192.168.0.1. Convertir en binaire les quatre entiers composant le masque et faire un ET logique bit à bit entre le masque et l'adresse IP de l'hôte. Quelle adresse IP obtient-on ?
7. Échanger les machines d'adresses MAC 49:7F:CC:F9:D6:A5 et 42:92:2E:CF:47:85. En mode construction, permuter leurs configurations réseau : adresse IP et adresse de la passerelle. Tester la liaison avec la commande `ping`.
 - D'après vous ,pourquoi désigne-t-on l'adresse MAC comme adresse physique et l'adresse IP comme adresse logique ?

Adresse IP	192.168.1.1
Masque	255.255.255.0
Passerelle	192.168.1.10

Adresse IP	192.168.0.1
Masque	255.255.255.0
Passerelle	192.168.0.10

No.	Date	Source	Destination	Protocole	Couche	Commentaire
21	11:20:15....	192.168.1.1	192.168.1.10	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée à 192.168.1.10, 1...
22	11:20:15....	192.168.1.10	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.10: 33:53:74:EC:FD:AA
23	11:20:15....	192.168.1.1	192.168.0.1	ICMP	Internet	ICMP Echo Request (ping), TTL: 64, Seq.-Nr.: 1
24	11:20:16....	192.168.0.1	192.168.1.1	ICMP	Internet	ICMP Echo Reply (pong), TTL: 63, Seq.-Nr.: 1

No.: 23 / Date: 11:20:15.972

- ↳ Réseau
 - Source: 49:7F:CC:F9:D6:A5
 - Destination: 33:53:74:EC:FD:AA
 - Commentaire: 0x800
- ↳ Internet
 - Source: 192.168.1.1
 - Destination: 192.168.0.1
 - Protocole: ICMP
 - Commentaire: ICMP Echo Request (ping), TTL: 64, Seq.-Nr.: 1

Figure 8: Ping de 192.168.1.1 vers 192.168.0.1

No.	Date	Source	Destination	Protocole	Couche	Commentaire
21	11:20:15....	192.168.1.1	192.168.1.10	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée à 192.168.1.10, 1...
22	11:20:15....	192.168.1.10	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.10: 33:53:74:EC:FD:AA
23	11:20:15....	192.168.1.1	192.168.0.1	ICMP	Internet	ICMP Echo Request (ping), TTL: 64, Seq.-Nr.: 1
24	11:20:16....	192.168.0.1	192.168.1.1	ICMP	Internet	ICMP Echo Reply (pong), TTL: 63, Seq.-Nr.: 1

No.: 24 / Date: 11:20:16.789

- ↳ Réseau
 - Source: 33:53:74:EC:FD:AA
 - Destination: 49:7F:CC:F9:D6:A5
 - Commentaire: 0x800
- ↳ Internet
 - Source: 192.168.0.1
 - Destination: 192.168.1.1
 - Protocole: ICMP
 - Commentaire: ICMP Echo Reply (pong), TTL: 63, Seq.-Nr.: 1

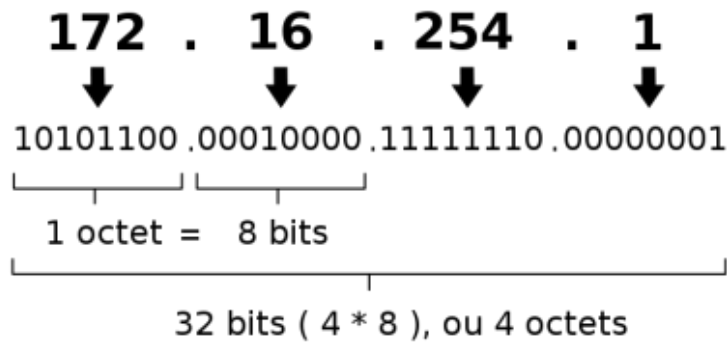
Pong de 192.168.1.1 vers 192.168.0.1



Point de cours 5

- Dans les années 1970, [Vinton Cerf](#) et [Robert Kahn](#) en s'inspirant des travaux de [Louis Pouzin](#), ont développé le protocole [Internet Protocol \(IP\)](#) qui permet d'interconnecter des réseaux locaux. C'est un protocole de la couche *réseau* ou *internet* dans le [modèle en couches TCP/IP](#).
- La première fonctionnalité du protocole [IP](#) est *l'adressage*.
 - Chaque interface d'une machine hôte de l'interconnexion de réseaux reçoit un identifiant unique appelé **adresse IP**. Dans la version 4 du protocole, elle est représentée sur 32 bits par 4 octets notés en décimal séparés par des points. Selon le principe d'**encapsulation des données**, les adresses [IP](#) de l'émetteur et du destinataire du message sont ajoutés dans *l'entête IP*.

Une adresse IPv4 (notation décimale à point)



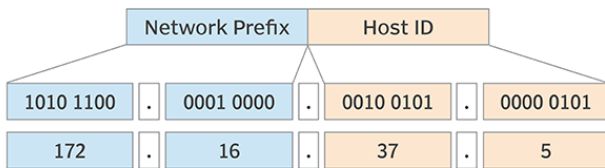
- L'adresse IP est une **adresse logique**, elle n'est pas attachée définitivement à une machine, elle peut changer si la machine est déplacée dans un autre réseau. De plus une adresse IP dénote une interface réseau et une machine, comme un **routeur**, peut en posséder plusieurs.
- Il existe des adresses IP spéciales comme 127.0.0.1 qui correspond à la machine elle-même.
- La seconde fonctionnalité du protocole IP est *le routage* des paquets de données à travers différents réseaux locaux.
 - Un **routeur** est un équipement situés à la frontière d'au moins deux réseaux, possédant une interface dans (et donc au moins deux adresses IP) et qui joue le rôle de **passerelle** entre les deux.
 - En pratique un émetteur envoie un paquet de données directement à son destinataire (en passant par un **switch**) s'il est sur le même réseau local et sinon il le transmet à sa **passerelle**. Celle-ci peut le transmettre directement si elle est connectée au réseau du destinataire sinon elle l'envoie à une autre **passerelle**.
 - De proche en proche et grâce à des *algorithmes de routage*, le message parvient jusqu'au destinataire. Chaque **passerelle** possède des *tables de routage* pour déterminer le prochain saut dans la transmission d'un message reçu.
 - Tous les paquets de données transmis d'un hôte émetteur vers un destinataire ne suivent pas forcément le même chemin. Si la topologie physique de l'interconnexion de réseaux évolue (routeurs ajoutés, enlevés, en panne) ou si le trafic est trop important sur certains liens, les routeurs intermédiaires vont dynamiquement mettre à jour leurs *tables de routages* et peuvent changer le routage de paquets avec le même couple (émetteur, destinataires). C'est le principe de la **commutation de paquets**.
 - Une *configuration réseau* permet à un hôte émetteur de déterminer si le destinataire d'un message fait partie du même réseau local. Cette configuration est constituée :
 - * de l'adresse IP de l'interface
 - * de l'adresse IP de sa **passerelle**
 - * d'un **masque de sous-réseau** au format d'une adresse IP qui permet de séparer les parties *réseau* et *hôte* dans une adresse IP. Tous les hôtes d'un même réseau local partagent le même *préfixe réseau*.
 - Une *configuration réseau* peut être attribuée automatiquement par le service réseau DHCP ou de façon statique dans un fichier de configuration.

- Si la partie *hôte* est codée sur p bits alors le nombre de machines possibles dans le même réseau n'est pas 2^p mais $2^p - 2$ car il existe deux adresses spéciales :
 - * L'adresse IPv4 dont tous les bits de la partie *hôte* sont à 0 est appelée *adresse du réseau*, elle n'est pas attribuée à une machine
 - * L'adresse IPv4 dont tous les bits de la partie *hôte* sont à 1 est appelée *adresse de diffusion*, elle permet d'envoyer un paquet à toutes les machines du réseau.

Méthode

Voici quelques exemples pour extraire le *préfixe réseau* à partir d'une adresse **IP** et d'un **masque de sous-réseau**. Il faut effectuer un **ET logique** entre les représentations binaires de l'adresse **IP** et du **masque de sous-réseau**.

Cette méthode est hors-programme pour le bac !



1. Si le nombre de bits du **masque de sous-réseau** est un multiple de 8 : 255.0.0.0, 255.255.0.0, ou 255.255.255.0 il suffit de masquer la partie de l'adresse **IP** correspondant aux 0 du masque. Le passage en binaire n'est pas nécessaire.

Adresse	Binaire	Décimal
adresse IP	11000000.10101000.00010111.00000010	192.168.23.2
masque	11111111.11111111.11111111.00000000	255.255.255.0
adresse réseau	11000000.10101000.00010111.00000000	192.168.23.0

2. Sinon, le passage en binaire est nécessaire.

Adresse	Binaire	Décimal
adresse IP	00010111.10101000.00010111.00000010	192.168.23.2
masque	11111111.11111111.11110000.00000000	255.255.112.0
adresse réseau	11000000.10101000.00010000.00000000	192.168.16.0

Un **masque de sous-réseau** peut être caractérisé par sa longueur en bits. La notation **CIDR** est une façon compacte d'ajouter cette information à la suite d'une adresse **IP** en les séparant par le symbole /.

L'adresse du premier exemple sera ainsi notée 192.168.23.2/24 et celle du second 192.168.23.2/20.

Pour s'entraîner on pourra utiliser ce [calculateur en ligne](#).



Exercice 4

Donner les adresses réseau correspondant à ces adresses **IP** en notation **CIDR** : 148.33.1.112/8 , 82.30.12.18/24 et 91.198.174.3/19



Méthode

Quelques commandes réseau sont à connaître.

1. La commande **ping** permet de tester la liaison avec un hôte si on connaît son adresse **IP** ou son nom de domaine. On l'interrompt avec le signal envoyé par **CTRL + C**.

```
junier@fredportable:~$ ping 192.168.1.254
PING 192.168.1.254 (192.168.1.254) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.1.254: icmp_seq=1 ttl=64 time=2.27 ms
64 bytes from 192.168.1.254: icmp_seq=2 ttl=64 time=3.83 ms
64 bytes from 192.168.1.254: icmp_seq=3 ttl=64 time=2.60 ms
^C
--- 192.168.1.254 ping statistics ---
9 packets transmitted, 9 received, 0% packet loss, time 8013ms
rtt min/avg/max/mdev = 2.184/3.020/4.642/0.844 ms
```

2. Les commandes **ifconfig** ou **ip address** sous Linux ou **ipconfig** sous Windows permettent d'afficher les adresses physique (MAC) ou logiques (IP) d'une interface réseau. Par exemple l'adresse MAC de l'interface Wifi ci-dessous est **fc:f8:ae:31:cb:67** et son adresse IPv4, au moment de l'exécution, était **192.168.1.98**. On remarque un autre format IPv6 codé sur 128 bits en hexadécimal, mis en place progressivement pour faire face à la pénurie d'adresses IPv4 sur 32 bits (soit $2^{32} = 4294967296$ adresses).

```
anonymous@laptop:~$ ifconfig
```

```
wlp2s0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
  inet 192.168.1.98 netmask 255.255.255.0 broadcast 192.168.1.255
  inet6 fe80::2d0d:7c56:cc75:cadb prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
  ether fc:f8:ae:31:cb:67 txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 50800 bytes 45120378 (45.1 MB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 37659 bytes 5251257 (5.2 MB)
```

3. La commande `route -n` sous Linux permet d'afficher la passerelle et le masque de sous-réseau d'une interface. Ci-dessous l'adresse de l'hôte est 192.168.1.0, celle de la passerelle 192.168.1.254 et le masque est 255.255.255.0.

```
anonymous@laptop:~$ route -n
Table de routage IP du noyau
Destination      Passerelle      Genmask          Indic Metric Ref  Use Iface
0.0.0.0          192.168.1.254  0.0.0.0          UG    600   0    0  wlp2s0
192.168.1.0     0.0.0.0        255.255.255.0   U     600   0    0  wlp2s0
```

4. La commande `traceroute` utilise le champ **TTL** de l'entête IP pour tracer les routeurs sur le chemin entre un hôte émetteur et un destinataire dont on connaît l'adresse IP ou le nom de domaine. Le nombre de sauts maximum est de 30.

```
anonymous@laptop:~$ traceroute qwant.com
traceroute to qwant.com (194.187.168.99), 30 hops max, 60 byte packets
 1  _gateway (192.168.1.254) 5.397 ms 5.415 ms 6.008 ms
 2  176-145-144-2.abo.bbox.fr (176.145.144.2) 29.450 ms 29.952 ms 31.584
    ms
 3  212.194.170.233 (212.194.170.233) 38.825 ms 42.428 ms 43.469 ms
 4  be5.cbr01-ntr.net.bbox.fr (212.194.171.137) 44.712 ms 45.358 ms
    46.831 ms
 5  * * *
 6  qwant.par.franceix.net (37.49.236.134) 48.854 ms 25.381 ms 25.308 ms
```



Exercice 5

QCM type E3C

1. Laquelle de ces écritures ne désigne pas une adresse IP ?

- **Réponse A** : 127.0.0.1
- **Réponse B** : 207.142.131.245
- **Réponse C** : 192.168.229.48
- **Réponse D** : 296.141.2.4

2. Sur la configuration IP d'une machine nommée MACH01 on peut lire :

adresse Ipv4: 172.16.100.201 Masque de sous-réseau : 255.255.0.0 Passerelle : 172.16.0.254

Sur la configuration IP d'une machine nommée MACH02 on peut lire :

adresse Ipv4 : 172.16.100.202 Masque de sous-réseau : 255.255.0.0 Passerelle : 172.16.0.254

Depuis la machine MACH02, à l'aide de quelle commande peut-on tester le dialogue entre ces deux machines ?

- **Réponse A** : ping 172.16.100.201
 - **Réponse B** : ping 172.16.100.202
 - **Réponse C** : ping 172.16.100.254
 - **Réponse D** : ping 255.255.0.0
3. Dans un terminal sous Linux, à quoi sert la commande traceroute ?
- **Réponse A** : à afficher un itinéraire routier entre deux villes
 - **Réponse B** : c'est un synonyme pour la commande ping
 - **Réponse C** : à afficher le chemin suivi par des paquets à travers un protocole IP
 - **Réponse D** : à suivre pas à pas l'exécution d'un programme
4. Quelle est l'utilité de la commande ping dans un réseau informatique ?
- **Réponse A** : établir un réseau privé virtuel
 - **Réponse B** : tester si la connexion peut être établie avec une machine distante
 - **Réponse C** : obtenir la route suivie par un paquet dans le réseau
 - **Réponse D** : mesurer les performances d'une machine distante
5. Quel matériel permet d'interconnecter des **réseaux** entre eux :
- **Réponse A** : un routeur
 - **Réponse B** : un commutateur (ou *switch*)
 - **Réponse C** : un interconnecteur
 - **Réponse D** : un serveur
6. Quel protocole permet d'attribuer dynamiquement une adresse IP ?
- **Réponse A** : UDP
 - **Réponse B** : HTTP
 - **Réponse C** : DHCP
 - **Réponse D** : DNS

2.5 La couche transport du modèle TCP/IP

Activité 3

1. Ouvrir avec le logiciel **Filius** le fichier `wlan3.flis`. Il s'agit du même réseau que dans `wlan3.flis` avec un ordinateur d'adresse IP `192.168.0.2` et un switch en plus dans le réseau d'adresse `192.168.0.0`.



2. Sélectionner le mode *simulation* Faire un clic droit sur la machine d'adresse IP

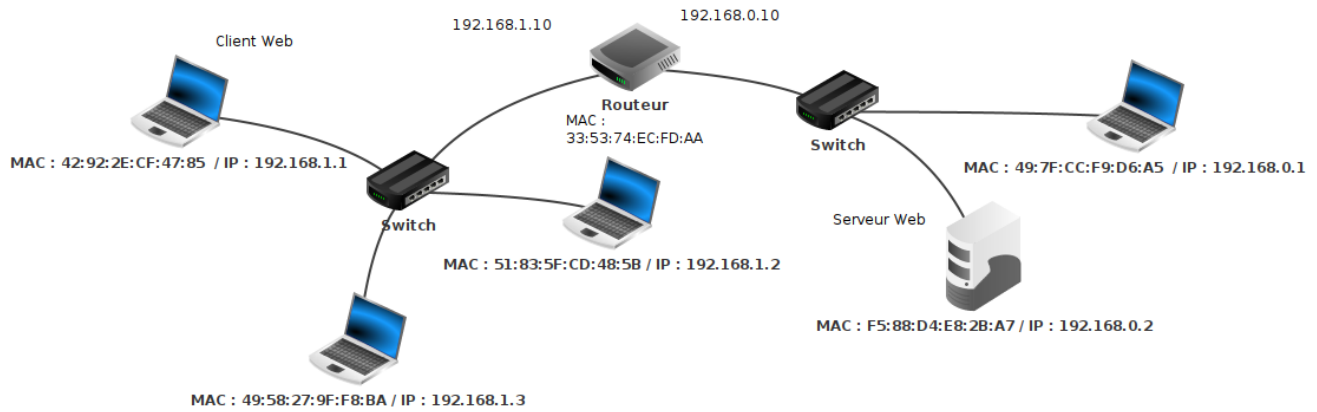


Figure 9: Réseau avec serveur Web

192.168.0.2, afficher le bureau, installer un serveur Web et le démarrer. Faire un clic droit sur la machine d'adresse IP 192.168.1.1, afficher le bureau, installer un navigateur Web et saisir dans la barre d'adresse `http://192.168.0.2` pour envoyer une requête HTTP demandant la page d'accueil du serveur Web sur 192.168.0.2. Afficher les données échangées, on devrait obtenir l'historique ci-dessous.

3. La requête HTTP est-elle le premier paquet de données échangé ?

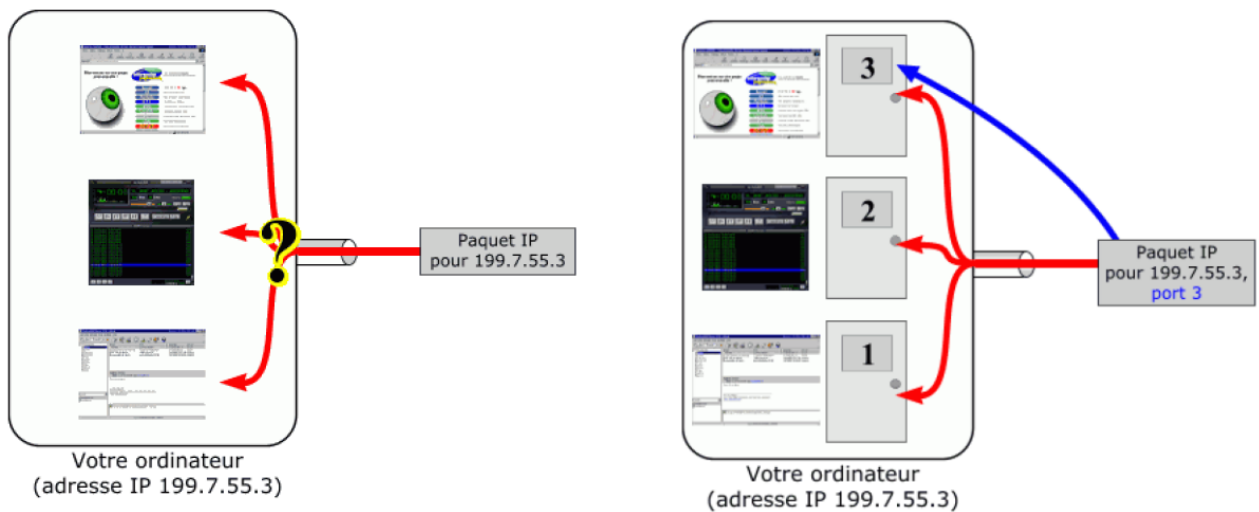
No.	Date	Source	Destination	Protoc...	Couche	Commentaire
1	13:52:26....	192.168.1.1	192.168.1.10	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée à 192.168.1.10, ...
2	13:52:26....	192.168.1.10	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.10: 33:53:74:EC:FD:AA
3	13:52:26....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SYN, SEQ: 3707411535
4	13:52:27....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	TCP	Transport	SYN, SEQ: 2190171253, ACK:3707411536
5	13:52:27....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411536, ACK:2190171254
6	13:52:27....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	Application		GET / HTTP/1.1 Host: 192.168.0.2
7	13:52:27....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	TCP	Transport	SEQ: 2190171254, ACK:3707411569
8	13:52:27....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	Application		HTTP/1.1 200 OK Content-type: text/html <html> <h...
9	13:52:27....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411569, ACK:2190171869
10	13:52:29....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	Application		GET splashscreen-mini.png HTTP/1.1 Host: 192.168.0.2
11	13:52:29....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	TCP	Transport	SEQ: 2190171869, ACK:3707411622
12	13:52:29....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	Application		HTTP/1.1 200 OK Content-type: image/png iVBORw0KGgo...
13	13:52:29....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411622, ACK:2190173329
14	13:52:30....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	Application		J285HmH0qGH4aXrASUORlBnxDMAwb58uasHZsk0TKR8 8kGKILIJ...
15	13:52:30....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411622, ACK:2190174789
16	13:52:30....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	Application		SsqATIZhcoDx90PpgCn0GF/t4Wem0xIDEbnZEcvi+EF6yD Z0aXL...

Figure 10: Requête HTTP avec une adresse IP



Point de cours 6

- Le protocole **IP** de la couche *réseau* permet la transmission d'un paquet de données entre deux machines hôtes. Il s'exécute sur tous les routeurs traversés lors du chemin. Néanmoins, plusieurs services réseaux peuvent s'exécuter sur l'émetteur et le destinataire. Pour faire communiquer deux programmes, il faut donc un paramètre d'adresse supplémentaire, appelé **port**.
- Les protocoles **TCP** et **UDP** de la couche *transport* encapsulent un paquet IP à émettre avec un *entête* contenant les numéros de **port** des applications chez l'émetteur et le destinataire. Ces protocoles s'exécutent de *bout en bout* sur l'émetteur et le destinataire mais pas sur les routeurs intermédiaires.
- Par principe de **multiplexage**, les données sont découpées en paquets qui sont transmis séparément sur le réseau et qui peuvent suivre des chemins différents et donc se perdre ou arriver dans le désordre d'après le principe de **commutation de paquets**. Cette souplesse du **modèle TCP/IP** est la clef du succès d'Internet mais elle nécessite des mécanismes pour garantir la *fiabilité* des transmissions : ordonner les paquets, demander la réémission de paquets perdus ...
- Le protocole **UDP** fonctionne en mode non connecté et n'offre pas ces services car il est utilisé dans des applications avec des questions/réponses simples (**DNS**) ou pour lesquelles les erreurs de transmission ne sont pas critiques et qui ont besoin de rapidité (streaming video, jeu en ligne ...).
- Le protocole **TCP** établit une connexion entre l'émetteur et le destinataire et résout les problèmes de qualité de service grâce à un système d'*accusés de réception*.



Méthode

- | Expliquons le fonctionnement du protocole **TCP** à partir de l'historique d'échanges de la figure 12.

La connaissance de TCP est hors-programme mais nous étudierons en dernière partie un protocole simplifié de récupération de paquets qui est au programme !

1. Pour établir une *connexion TCP* entre un émetteur et un destinataire, les deux hôtes procèdent à un partage de numéros de séquences des paquets de données qu'ils vont transmettre lors d'une phase de trois échanges nommée *three handshake* (voir figure 13). Elle correspond aux échanges 3, 4 et 5 de la figure 12 :
 - Le client d'IP 192.168.1.1 envoie un paquet avec le drapeau SYN et un numéro de séquence SEQ 3707411535 qu'il a choisi.
 - Le serveur 192.168.0.2 lui répond avec un paquet de drapeau SYN qui contient un numéro de séquence SEQ 2190171253 qu'il a choisi et un numéro d'accusé de réception ACK avec le numéro de la prochaine séquence d'octets attendu de 192.168.1.1, soit $3707411535 + 1 = 3707411536$.
 - Le client 192.168.1.1 confirme avec un paquet sans drapeau qui contient le numéro de séquence SEQ correspondant au dernier numéro d'accusé de réception ACK reçu (soit 3707411536) et un ACK indiquant au serveur le numéro de séquence du prochain paquet attendu, soit $2190171253 + 1 = 2190171254$.
2. Une fois la connexion ouverte, chaque message reçu est suivi par l'envoi d'un *accusé de réception* (échanges de numéros impairs dans la figure 12) avec un numéro de séquence SEQ correspondant au dernier numéro d'accusé de réception ACK reçu et un accusé de réception indiquant à l'interlocuteur le numéro de séquence attendu lors de son prochain envoi : il se calcule en ajoutant à l'ACK précédent la taille du paquet qui vient d'être reçu. Ainsi chaque interlocuteur peut vérifier si son dernier paquet a été bien reçu (et le renvoyer éventuellement au bout d'un certain temps) et ordonner les paquets s'ils sont arrivés dans le désordre.
3. Toute connexion TCP se termine par un *handshaking* en quatre temps avec un échange de paquets marqués par le drapeau FIN (voir figure 14)



Exercice 6

QCM type E3C

Dans le protocole de communication IP :

- **Réponse A** : Les données sont envoyées en une seule partie.
- **Réponse B** : Les données sont envoyées en plusieurs parties qui suivent le même itinéraire au sein du réseau.
- **Réponse C** : Les données sont envoyées en plusieurs parties qui suivent des itinéraires différents au sein du réseau et arrivent à destination en respectant l'ordre de leur envoi.
- **Réponse D** : Les données sont envoyées en plusieurs parties qui suivent des itinéraires différents au sein du réseau et arrivent à destination dans un ordre quelconque.

2.6 La couche application du modèle TCP/IP

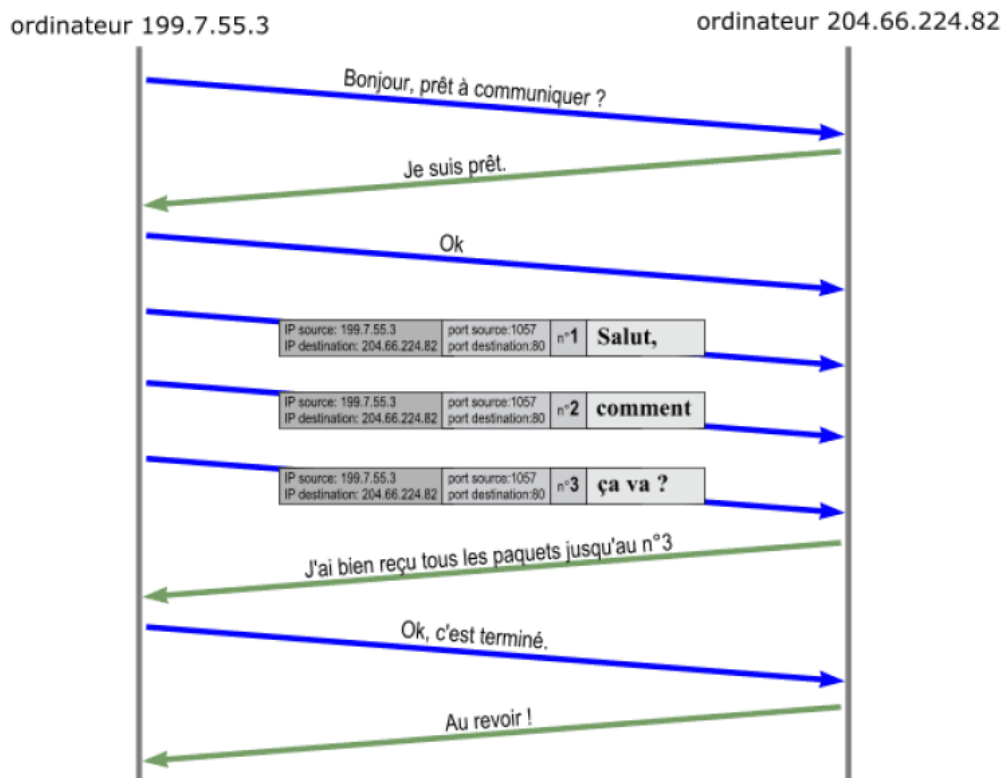


Figure 11: Ouverture d'une connexion TCP

No.	Date	Source	Destination	Protoc...	Couche	Commentaire
19	13:52:31....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411622, ACK: 2190177709
20	13:52:31....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	Application	Application	cK4FHwZZnSvmW50hH1rdMT9a/TVn9hy/3v4+eImV9Jtju3W+14Lm...
21	13:52:31....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411622, ACK: 2190179169
22	13:52:31....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	Application	Application	V0yHM6E6aAaAzJuguRbHm1iaInjxo3t2G0PdSd8YTiSgQ0l/ocvZ...
23	13:52:31....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411622, ACK: 2190180307
24	13:52:31....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	FIN, SEQ: 3707411622
25	13:52:32....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	TCP	Transport	SEQ: 2190180307, ACK: 3707411622
26	13:52:32....	192.168.0.2:80	192.168.1.1:23086	TCP	Transport	FIN, SEQ: 2190180307
27	13:52:32....	192.168.1.1:23086	192.168.0.2:80	TCP	Transport	SEQ: 3707411622, ACK: 2190180307

Figure 12: Fin d'une connexion TCP

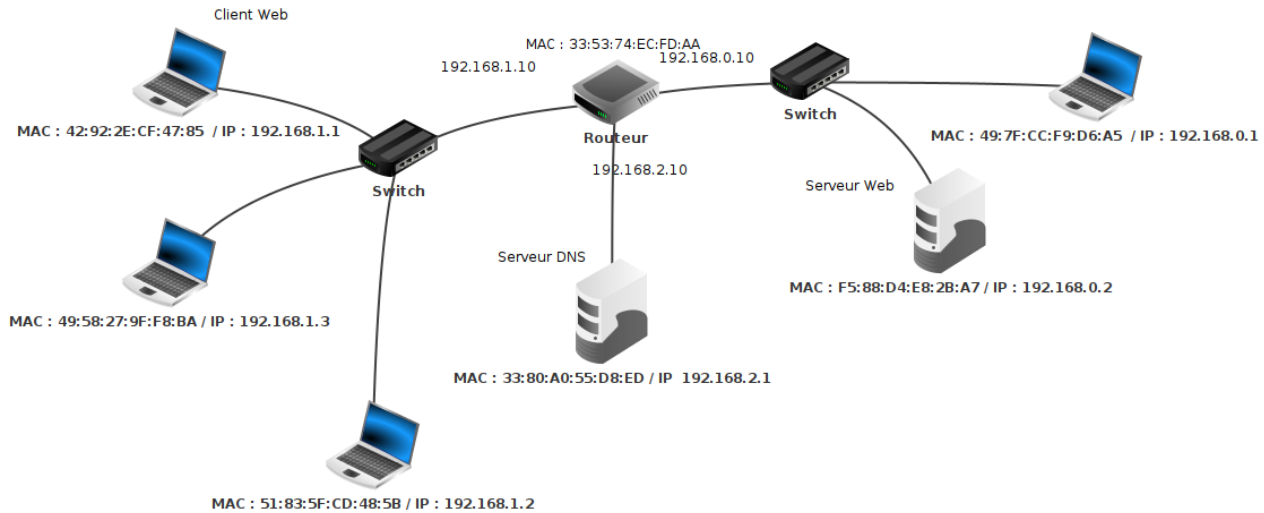


Figure 13: Réseaux avec serveur DNS

🚲 Activité 4

1. Ouvrir avec le logiciel **Filius** le fichier `wlan4.fls`. Par rapport aux réseaux de `wlan3.fls`, on a rajouté une interface `192.168.2.10` sur le routeur qui est connectée à un réseau local constitué d'une seule machine hôte d'adresse `192.168.2.1`.

En pratique, on n'interroge pas un serveur Web avec son adresse **IP** mais avec un *nom de domaine*. Pour associer l'adresse **IP** `192.168.0.1` du serveur Web au nom de domaine `www.monsite.org`, on va rajouter un serveur **DNS** sur la machine `192.168.2.1`.

2. En mode construction, paramétrer le serveur **DNS** sur la machine `192.168.1.1` avec l'adresse `192.168.2.1`.
3. En mode simulation, faire un clic droit sur la machine `192.168.2.1`, installer l'application serveur DNS, ajouter la règle de résolution du nom de domaine `www.monsite.org` par l'adresse **IP** du serveur Web et démarrer le serveur **DNS**.
4. Toujours en mode simulation, depuis la machine `192.168.1.1`, afficher le bureau, ouvrir le navigateur Web et saisir dans la barre d'adresse l'URL `http://www.monsite.org`. Afficher les échanges de données, on doit obtenir un historique similaire à celui de la figure 16. Comparer avec l'historique de la figure 12 où le serveur Web avait été atteint à partir de son adresse IP. Quels paquets de données supplémentaires ont été échangés ? Entre quelles machines ? Quel est leur rôle ?



Point de cours 7

- La *couche application* fournit des services permettant aux applications du client d'utiliser le réseau .

No.	Date	Source	Destination	Prot...	Couche	Commentaire
1	18:53:...	192.168.1.1	192.168.1.10	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée...
2	18:53:...	192.168.1.10	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.10: 33:53:74:EC:FD:AA
3	18:53:...	192.168.1....	192.168.2....		Applic...	ID=52500 QR=0 RCODE=0 QDCOUNT=1 ANC...
4	18:53:...	192.168.2....	192.168.1....		Applic...	ID=52500 QR=1 RCODE=0 QDCOUNT=0 ANC...
5	18:53:...	192.168.1....	192.168.0....	TCP	Transp...	SYN, SEQ: 4102540687
6	18:53:...	192.168.0....	192.168.1....	TCP	Transp...	SYN, SEQ: 2996403713, ACK:4102540688
7	18:53:...	192.168.1....	192.168.0....	TCP	Transp...	SEQ: 4102540688, ACK:2996403714
8	18:53:...	192.168.1....	192.168.0....		Applic...	GET / HTTP/1.1 Host: www.monsite.org
9	18:53:...	192.168.0....	192.168.1....	TCP	Transp...	SEQ: 2996403714, ACK:4102540725

No.: 4 / Date: 18:53:13.513

- ⊖ Réseau
 - Source: 33:53:74:EC:FD:AA
 - Destination: 42:92:2E:CF:47:85
 - Commentaire: 0x800
- ⊖ Internet
 - Source: 192.168.2.1
 - Destination: 192.168.1.1
 - Protocole: IP
 - Commentaire: Protocole :17, TTL: 63
- ⊖ Transport
 - Source: 53
 - Destination: 24442
 - Protocole: UDP
- ⊖ Application
 - ⊖ Commentaire:
 - ID=52500 QR=1 RCODE=0 QDCOUNT=0 ANCOUNT=1 NSCOUNT=0 ARCOUNT=0
 - www.monsite.org. A 3600 192.168.0.2

Figure 14: Requête HTTP avec une URL

- Ces programmes et les protocoles qu'ils utilisent incluent **HTTP** (Web), **FTP** (transfert de fichiers), **SMTP** (messagerie), **SSH** (connexion à distance sécurisée) ou **DNS** (recherche de correspondance entre noms et adresses IP) ...
- Ils sont souvent associés à des **ports TCP** particuliers : 80 pour **HTTP**, 22 pour **SSH** ...

Méthode

Pour le bac il faut juste savoir que **DNS** est le service de résolution de noms de domaines des **URL** en adresses **IP**.

- Le **DNS**, pour *Domain Name System*, fait le lien entre les adresses **IP** et les noms de machine. Les noms de domaine figurent en particulier dans les **URL** qui permettent de localiser les ressources dans l'hypertexte du Web. Par exemple dans l'**URL** <https://fst-mathematiques.univ-lyon1.fr/formation/>, le nom de domaine est **fst-mathematiques.univ-lyon1.fr**. Les noms de domaines sont hiérarchisés dans une structure arborescente. Dans un nom de domaine, les domaines imbriqués sont séparés par un point : dans **fst-mathematiques.univ-lyon1.fr**, on a **fst-mathematiques** sous-domaine de **univ-lyon1** sous-domaine de domaine de **fr** qui est un domaine de premier niveau ou Top Level Domain.
- Le préfixe **www** qui apparaît souvent dans les **URL** du Web, désigne un sous-domaine particulier correspondant au répertoire public par défaut sur le serveur Web. Il n'est pas nécessaire dans l'**URL**.
- Les correspondances entre noms de domaine et adresses **IP** sont déterminées en interrogeant des serveurs **DNS** (avec le protocole **DNS**...) . Chaque hôte sur internet est paramétré avec un serveur **DNS** par défaut. Un seul serveur **DNS** ne pouvant pas connaître toutes les adresses **IP**, **DNS** est un système distribué : chaque hôte possède un serveur **DNS** par défaut qui connaît l'adresse de serveurs racines qui eux-mêmes connaissent les adresses de serveurs **DNS** administrant les domaines de premier niveau. Pour résoudre un domaine, le serveur **DNS** de l'hôte procède par interrogations successives jusqu'à atteindre un serveur **DNS** détenant l'adresse **IP** du domaine recherché.
- Les commandes **host** ou **nslookup** permettent sous Linux de résoudre des noms de domaines :

```
junier@fredportable:~$ host qwant.com
qwant.com has address 194.187.168.99
qwant.com mail is handled by 50 mail1.qwant.com.
qwant.com mail is handled by 90 mail2.qwant.com.
junier@fredportable:~$ nslookup qwant.com
Server:      127.0.0.53
Address:    127.0.0.53#53

Non-authoritative answer:
Name:      qwant.com
Address: 194.187.168.99
```

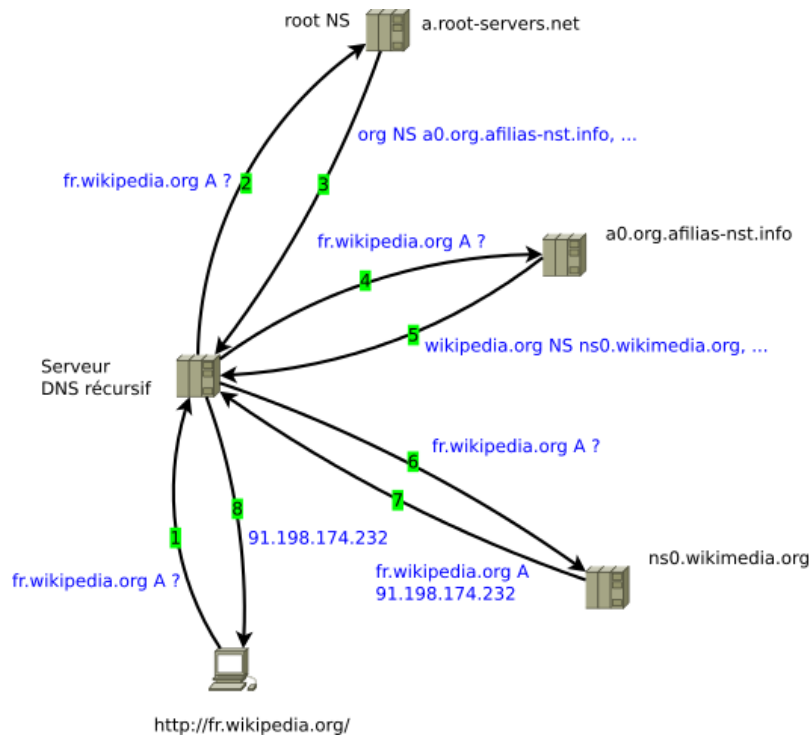


Figure 15: Requêtes DNS itératives (source Wikipedia)



Exercice 7

QCM type E3C

L'adresse IP du site `www.education.gouv.fr` est 185.75.143.24.

Quel dispositif permet d'associer l'adresse IP et l'URL `www.education.gouv.fr` ?

- **Réponse A** : un routeur.
- **Réponse B** : un serveur DNS.
- **Réponse C** : un serveur de temps.
- **Réponse D** : un serveur Web.

3 Étude d'un protocole de récupération de paquet

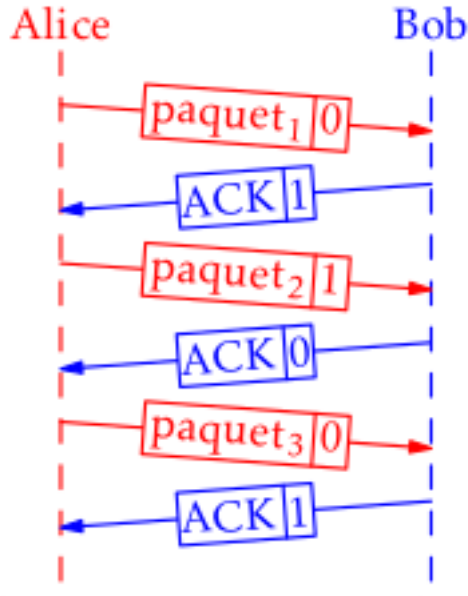
3.1 Le protocole du bit alterné

Le contenu de cette partie est directement inspiré des cours de Romain Janvier ou David Roche, merci à eux.



Point de cours 8

- Le **protocole de bit alterné** était implémenté au niveau de la *couche liaison* du modèle OSI. Le principe est simple : considérons 2 machines en réseau : une machine A, l'émetteur et une machine B, le destinataire. Lors de l'émission d'un paquet de données, A y ajoute un *bit* (1 ou 0) appelé *bit de contrôle*. À réception, B envoie un *accusé de réception* (acknowledge en anglais souvent noté ACK) en lui ajoutant également un *bit de contrôle* (1 ou 0).
- Pour le choix des *bits drapeaux*, la règle est la suivante :
 - le premier paquet envoyé par A aura pour bit de contrôle 0
 - B répond avec un accusé de réception en fixant un *bit alterné* pour son bit de contrôle : donc 1 s'il a reçu 0
 - A reçoit un accusé de réception avec le bit de contrôle 1 donc il sait que son paquet précédent a été reçu et qu'il peut envoyer le paquet suivant avec le bit de contrôle 1
 - B reçoit un paquet avec le bit de contrôle qui correspond à celui demandé, il renvoie un accusé de réception avec le *bit alterné* donc 0
 - ainsi de suite ... le bit de la trame ou de l'accusé de réception alterne de chaque côté

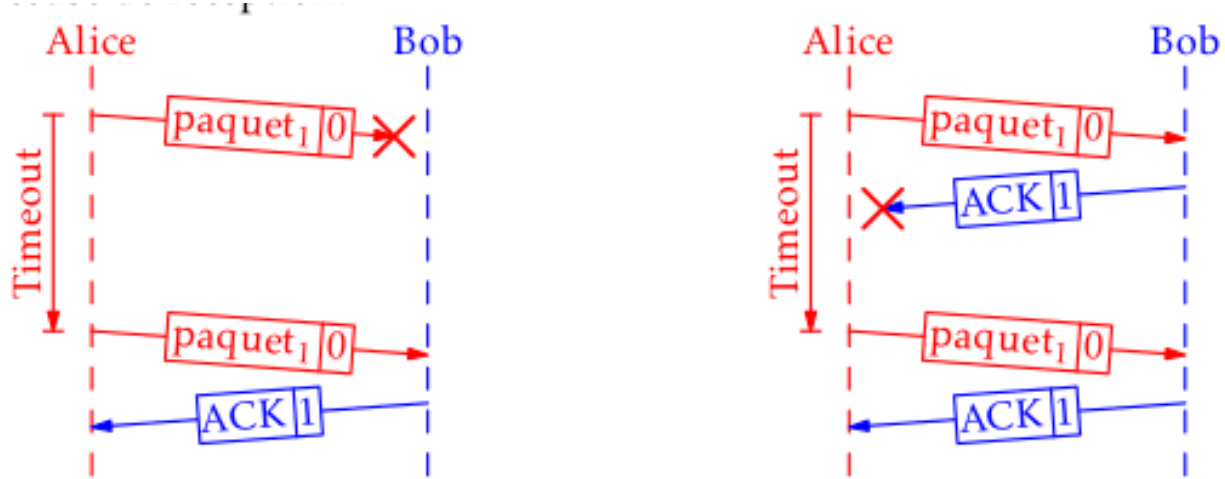


Déroulement du protocole du bit alterné (source : Romain janvier)

- Le système de bit de contrôle est complété avec un système d'horloge côté émetteur. Un "chronomètre" est déclenché à chaque envoi de paquet. Si au bout d'un certain temps (le *timeout*), l'émetteur n'a pas reçu un *accusé de réception* correct (avec le bon bit de contrôle), la trame précédemment envoyée par l'émetteur est considérée comme perdue et elle est de nouveau envoyée.
- Considérons quelques cas de perte de paquet :
 - Si un paquet (avec par exemple le bit de contrôle 0) envoyé par l'émetteur est perdu, l'accusé de réception ne lui revient pas au bout du timeout, il comprend que son paquet a été perdu

et il renvoie le paquet.

- Si l'accusé de réception avec le bit de contrôle 1 est perdu, il ne parvient pas à l'émetteur au bout du *timeout* qui renvoie le paquet avec le bit de contrôle 0. Le destinataire reçoit un paquet avec le bit de contrôle 0 alors qu'il attendait le bit de contrôle 1. Il comprend que son accusé a été perdu et il renvoie son accusé avec le bit de contrôle 1.



Pertes de paquets dans le protocole du bit alterné (source : Romain janvier)

3.2 Applications

Exercice 8

1. Dans quel but le protocole du bit alterné peut-il être utilisé ?
 - **Réponse A** : Pour chiffrer des données lors de transmission de données sur un réseau
 - **Réponse B** : Pour détecter des pertes de paquets de données lors de transmission de données sur un réseau.
 - **Réponse C** : Pour créer des paquets de données lors de transmission de données sur un réseau.
 - **Réponse D** : Pour envoyer les paquets de données à la bonne l'adresse IP de la machine de destination.
2. Quelle est la réponse à envoyer quand le destinataire reçoit un paquet avec le bit de contrôle 1 ?
3. Quelle est la réponse à envoyer quand l'émetteur reçoit un paquet avec le bit de contrôle 1 ?
4. On arrive au timeout pour le paquet n avec un bit de contrôle de 0. Quelle était la réponse attendue ?
5. Imaginer une ou plusieurs situations où le protocole de bit alterné est inefficace et ne permet pas de récupérer un paquet perdu.