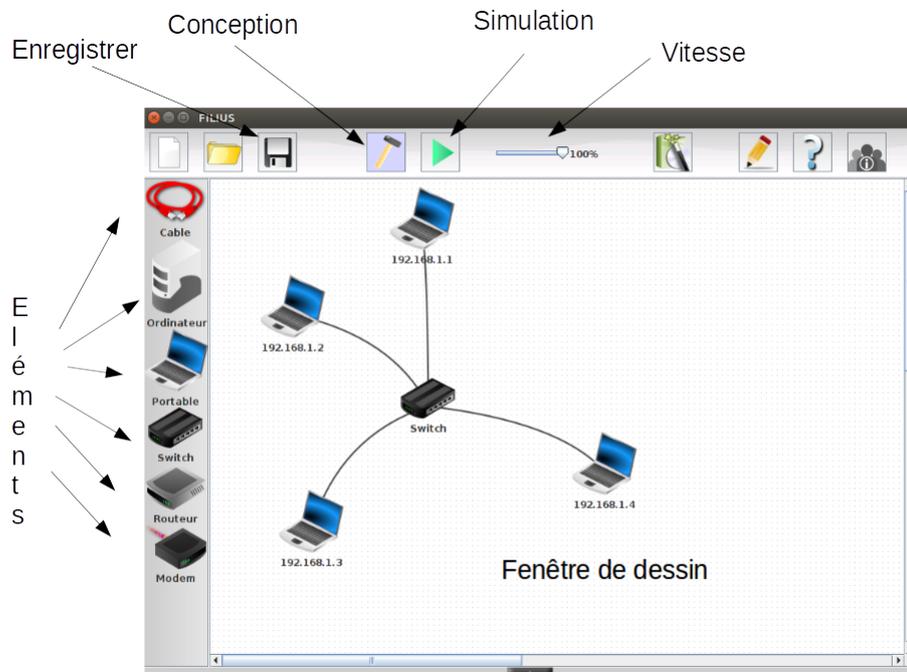


Ce document est directement inspiré d'une ressource présentée pendant la formation SNT 2019 des enseignants de l'Académie de Lyon et placée sous licence **CC BY-NC-SA 4.0**, de la ressource en ligne de David Roche sur la plateforme **Pixees** en particulier pour l'exercice 4 et de la documentation du logiciel **Filius**.

Le logiciel **Filius** est un logiciel de simulation de réseau développé par une université allemande. Une **documentation en Anglais** est disponible.

L'interface du logiciel se présente ainsi :



Interface du simulateur de réseau Filius

Il existe deux modes d'utilisation.

☞ Pour réaliser le circuit, on utilise le mode *conception* en cliquant sur l'icône . Les éléments disponibles sont disposés sur le bord vertical gauche de la fenêtre et il suffit de les glisser/déposer dans la zone centrale de conception.

☞ Pour effectuer une simulation et installer des logiciels sur les éléments du réseau, on utilise le mode *simulation* en cliquant sur l'icône .

⚠ Pour visualiser correctement le trajet des données sur le réseau, il faut régler la vitesse sur une petite valeur : 10 % ou 20 %.

1 Réseau local

Exercice 1 Connexion pair à pair de deux machines

L'objectif de cet exercice est de relier en réseau deux machines. Une telle connexion est dite *pair à pair*.

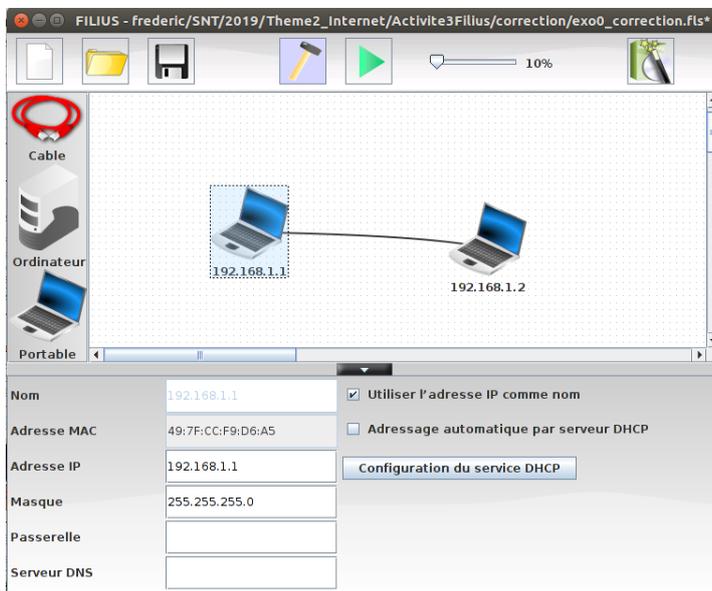
Créer un nouveau projet **Filius** et l'enregistrer dans un dossier pertinent de son espace personnel sur le réseau pédagogique sous le nom `exercice1.flx`.

1. Passer en mode *conception* et créer un réseau de deux machines hôtes de type portable reliées par un câble.
2. Faire un clic droit sur une machine et lui attribuer l'adresse IP 192.168.1.1 comme ci-dessous, en sélectionnant l'option *Utiliser l'adresse IP comme nom*. Attribuer de même l'adresse IP 192.168.1.2 à l'autre machine.
3. Pourrait-on choisir 192.168.256.2 comme adresse IP? On pourra rechercher sur le Web le format d'une adresse IP.

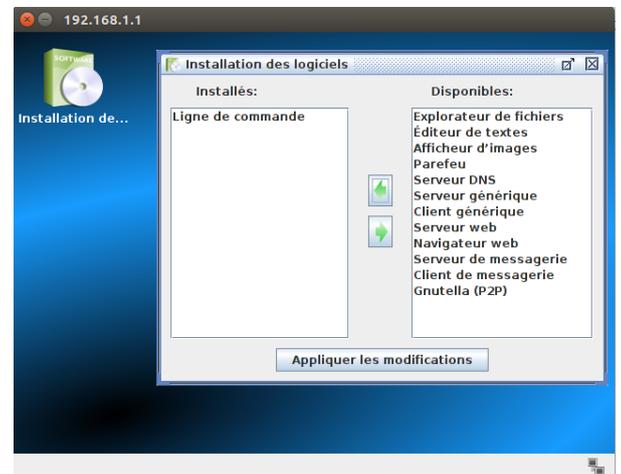
On désigne désormais les machines par leur adresse IP.

4. Passer en mode *simulation*, faire un clic droit sur la machine 192.168.1.1, sélectionner *Afficher le bureau* et installer l'application *ligne de commandes* en la faisant glisser vers la zone des applications installées à gauche comme ci-dessous.

Paramétrage de l'adresse IP

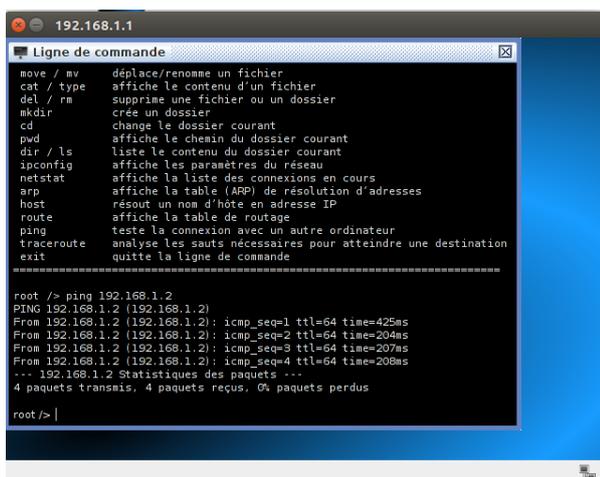


Installation d'une application

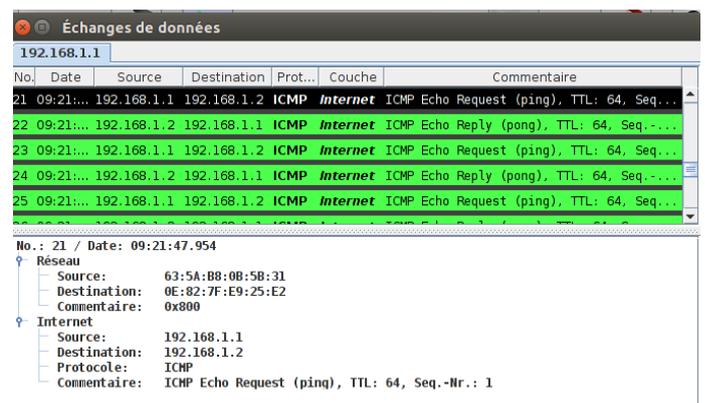


5. Lancer l'application ligne de commandes sur la machine 192.168.1.1 puis exécuter la commande `ping 192.168.1.2` pour tester la connexion vers la machine ping 192.168.1.2. Le câble devrait se colorer en vert si la connexion est correcte et les quatre paquets de données envoyés par ping devraient recevoir un écho pong retourné par ping 192.168.1.2.

ping 192.168.1.2



Affichage des données



6. En mode simulation faire un clic droit sur la machine 192.168.1.1 et afficher les échanges de données.
- Repérer les paquets de données émis par la machine 192.168.1.1 avec la commande ping et les réponses renvoyées par 192.168.1.2 avec la commande pong.
Les paquets sont structurés en couches et contiennent deux paires d'adresses MAC et IP.
Reconstituer un échange initié par une commande ping entre les deux machines à l'aide de deux flèches en plaçant les bonnes adresses MAC et IP à leurs extrémités.
 - Pourrait-on avoir une machine d'adresse MAC 10:AG:FF:EH:6E:A0? On pourra rechercher sur le Web le format d'une adresse **MAC**.
 - Permuter les adresses IP des deux machines et tester la liaison en exécutant une nouvelle commande ping. Peut-on échanger les adresses MAC?
 - Pour une machine connectée à un réseau informatique, on distingue adresse logique et adresse physique. Quelles sont les bonnes correspondances avec les adresses IP et MAC?

2 Interconnexion de réseaux

Exercice 2 Interconnexion de plusieurs machines avec un switch

On veut désormais étendre notre réseau à 4 machines.

Ouvrir le projet précédent `exercice1.flr` et l'enregistrer dans le même dossier sous le nom `exercice2.flr`.

- Supprimer le câble entre les machines 192.168.1.1 et 192.168.1.2 et rajouter deux machines de type portable d'adresses IP 192.168.1.3 et 192.168.1.4.
- Pour interconnecter plus de deux machines on utilise un *commutateur* ou *switch* en Anglais. Créer un *switch* relié aux quatre machines.

Un *switch* ressemble à une multiprise avec plusieurs ports Ethernet RJ45 auxquels sont reliés les machines du réseau local. Il établit une table de correspondances entre adresse physique **MAC** et ports. Lorsqu'il reçoit un paquet, il lit l'adresse MAC du destinataire et transmet le paquet sur le port correspondant.

- Tester la connexion entre les machines 192.168.1.1 et les trois autres avec la commande ping.

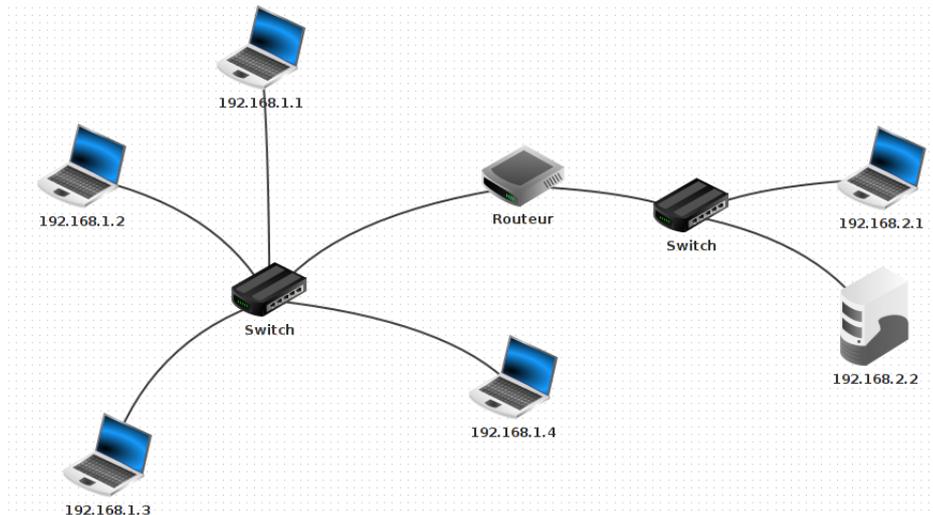
Dans cet exercice on a simulé un **réseau local**, constitué de machines pouvant communiquer directement en pair à pair. Cela peut correspondre au réseau reliant différents appareils dans un foyer avec la box jouant le rôle du switch mais il nous manque l'interconnexion avec un réseau externe : l'Internet. De plus, par rapport à un réseau d'entreprise ou d'établissement scolaire, il nous manque une machine jouant le rôle de **serveur** pour distribuer des services aux autres machines qui seraient ses **clients**. Chaque machine est identifiée par une adresse MAC et une adresse IP, pour un réseau local l'adresse MAC pourrait suffire. On va voir le rôle de l'adresse IP dans l'exercice suivant.

Exercice 3 Interconnexion de réseaux avec un routeur

On veut désormais interconnecter deux réseaux locaux avec un nouvel équipement appelé *routeur*.

Ouvrir le projet précédent `exercice2.flr` et l'enregistrer dans le même dossier sous le nom `exercice3.flr`.

1. En mode conception, ajouter un *routeur* en sélectionnant 2 interfaces puis ajouter un *switch*, une machine de type portable et une autre de type ordinateur. Paramétrer leurs interfaces réseaux avec les adresses IP 192.168.2.1 pour le portable et 192.168.2.2 pour l'ordinateur.
2. Relier le routeur aux deux switches et le deuxième switch au portable et à l'ordinateur du réseau ajouté.



3. Faire un clic droit sur le *routeur* puis configurer ses deux interfaces : en assignant l'adresse IP 192.168.1.254 à celle reliée au premier réseau et 192.168.2.254 à l'autre.



4. En mode simulation, sur la machine 192.168.1.1 où la ligne de commandes est active, tester les connexions vers toutes les autres machines avec la commande ping.
5. Quelles sont les machines qui ne peuvent être atteintes ?
6. Pour atteindre ces machines depuis 192.168.1.1, il faut configurer une passerelle sur cette machine c'est-à-dire un équipement du même réseau local qui pourra relayer les paquets à destination de l'extérieur local.

Cet équipement d'interconnexion entre deux réseaux est le *routeur*.

Sa première interface 192.168.1.254 fait partie du même réseau que 192.168.1.1 et plus généralement que toutes les machines d'IP 192.168.1.X dont le masque de sous-réseau 255.255.255.0 signifie que les trois premiers octets de leur adresse IP, 192.168.1, constituent le préfixe caractéristique du réseau auquel elles appartiennent.

De même l'interface 192.168.2.254 du routeur appartient au même réseau que les machines 192.168.2.1 et 192.168.2.2.

On peut noter qu'une adresse réseau (IP ou MAC) est liée à une **interface** et qu'un équipement peut posséder plusieurs interfaces. C'est le cas des routeurs qui doivent interconnecter différents réseaux (un réseau local et Internet par exemple).

- a. Repasser en mode conception et configurer la passerelle 192.168.1.254 sur la machine 192.168.1.1. Essayer de nouveau d'atteindre la machine 192.168.2.2 depuis la machine 192.168.2.1. Test concluant?

Nom	192.168.1.1
Adresse MAC	63:5A:B8:0B:5B:31
Adresse IP	192.168.1.1
Masque	255.255.255.0
Passerelle	192.168.1.254
Serveur DNS	

- b. Pour que ping 192.168.2.2 fonctionne, il faut, comme on l'a déjà vu, que 192.168.2.2 renvoie un écho pong vers l'émetteur 192.168.1.1.

Comme 192.168.1.1 est sur un autre réseau que 192.168.2.2, il faut configurer la passerelle 192.168.2.254 (interface du routeur sur le même réseau que 192.168.2.2) sur la machine 192.168.2.2. On doit faire de même sur 192.168.2.1.

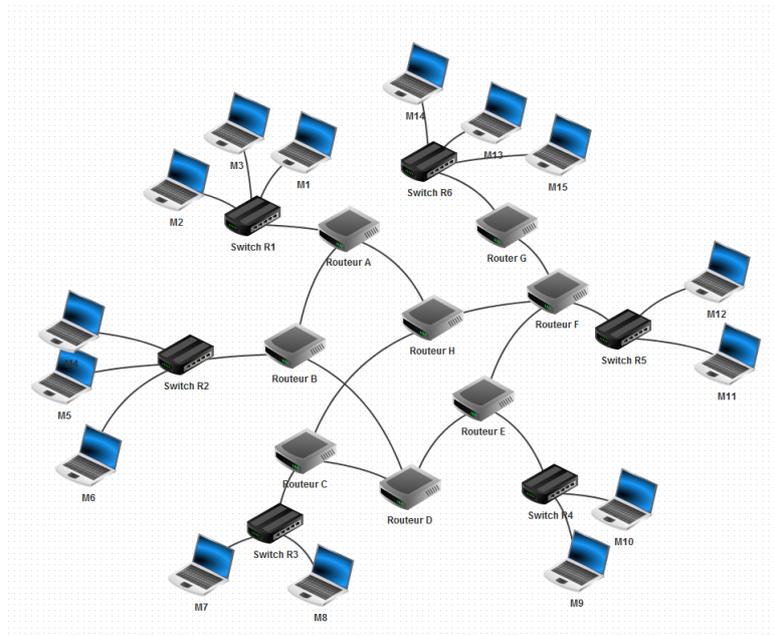
Nom	192.168.2.2
Adresse MAC	9F:B3:0E:A0:F4:E0
Adresse IP	192.168.2.2
Masque	255.255.255.0
Passerelle	192.168.2.254
Serveur DNS	

- c. En mode simulation, vérifier que toutes les machines peuvent être désormais atteintes depuis 192.168.1.1 avec la commande ping.
- d. Échanger les machines d'adresses IP 192.168.1.1 et 192.168.2.1. L'adresse logique de chaque machine est ainsi modifiée. Est-ce le cas de son adresse physique?
- e. Comment l'adresse IP permet-elle d'identifier les machines appartenant au même réseau local?

*Dans cet exercice, on a interconnecté deux réseaux locaux et on a vu deux fonctions du **protocole IP** qui permet de faire communiquer des machines dans des réseaux différents : **l'adressage** avec **l'adresse IP** et le **roulage** avec les routeurs. Cette fonctionnalité est l'objet du prochain exercice.*

Exercice 4 Routage dans une interconnexion de réseaux

Récupérer le fichier `exercice4_ressources.flx` puis l'ouvrir avec Filius.



1. Récupérer les adresses IP des machines M14 et M9.
2. En mode simulation, faire un ping de la machine M14 vers M9 pour vérifier la connexion.
3. Exécuter une commande `tracroute` à partir de la machine M14 pour afficher la route empruntée par les paquets de données pour atteindre la machine M9. Combien de routeurs ont été traversés? Marquer sur le schéma la route empruntée et les adresses IP des interfaces des routeurs intermédiaires.

```

root /> tracroute 192.168.4.1
Établissement de la connexion avec 192.168.4.1 (en 20 sauts max.).
 1  192.168.6.254
 2  192.168.14.2
 3  192.168.12.1
 4  192.168.4.1

192.168.4.1 a été atteint en 4 sauts.

```

4. Supprimer le câble réseau (clic droit sur le câble) qui relie le routeur F au routeur E (simulation de panne) et refaire un `tracroute` de M14 et M9.



Attendre un peu pour que les tables de routage des routeurs se mettent à jour.

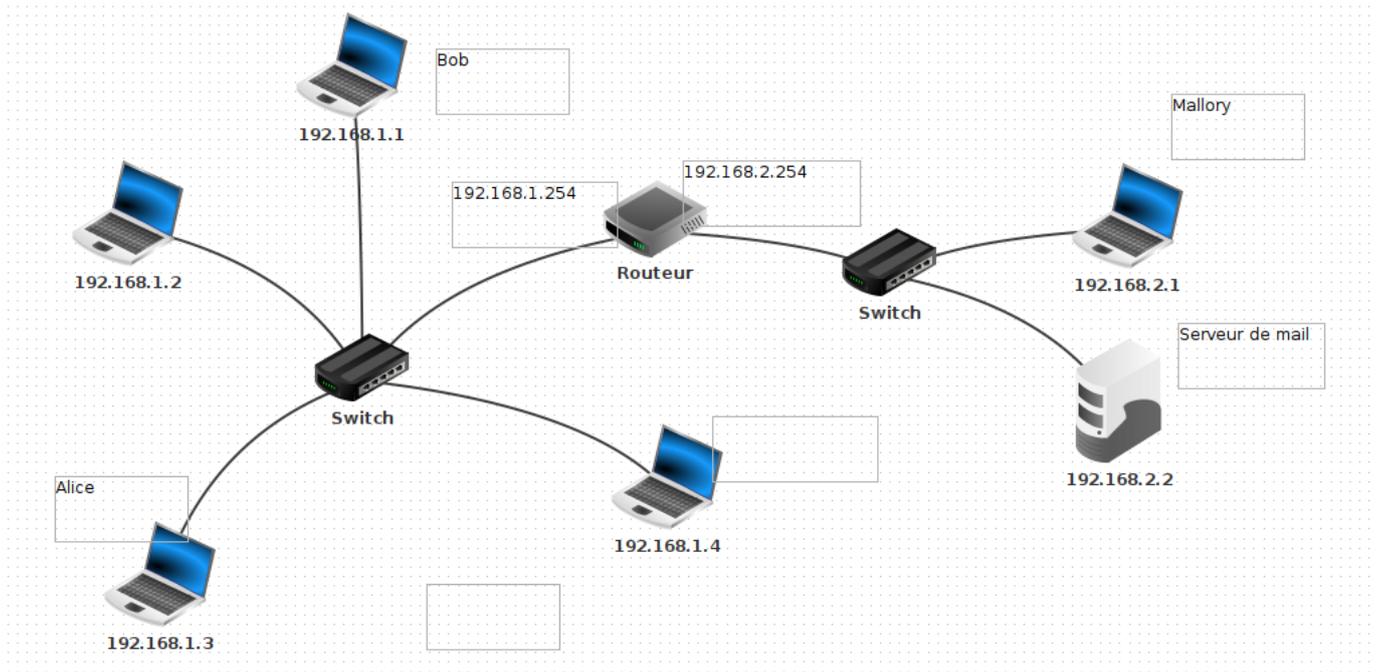
Que constate-t-on?

Dans cet exercice on a pu observer la fonction de **routage** du protocole **protocole IP** et la souplesse qui permet aux routeurs de s'adapter à l'évolution du réseau en mettant à jour leurs tables de routage.

3 Réseau avec serveur applicatif

Exercice 5 Ajout d'un serveur de messagerie

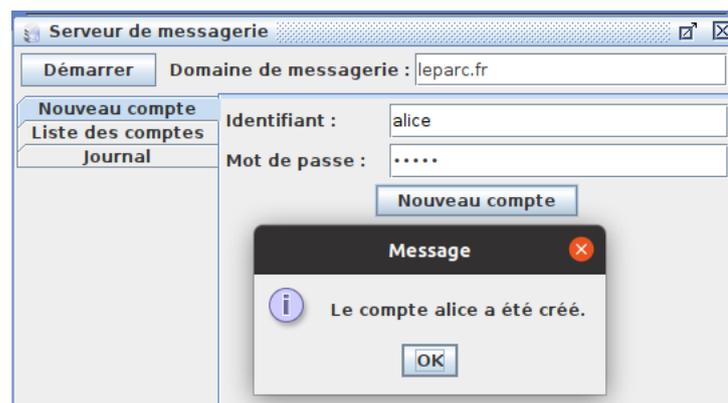
On veut désormais simuler un service réseau de courrier électronique avec échange client/serveur. Ouvrir le projet `exercice5.flx` et l'enregistrer dans le dossier du TP.



1. Passer en mode simulation et installer un serveur de messagerie sur la machine 192.168.2.2. Créer trois comptes dans le domaine leparc.fr :

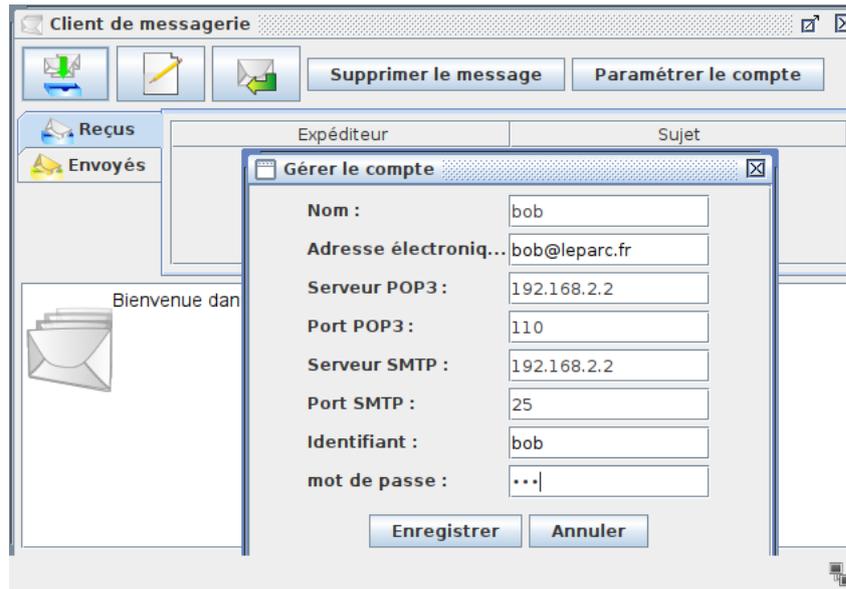
- Pour Bob avec l'adresse bob@leparc.fr, le nom d'utilisateur bob et le mot de passe bob.
- Pour Alice avec l'adresse alice@leparc.fr, le nom d'utilisateur alice et le mot de passe alice.
- Pour Mallory avec l'adresse mallory@leparc.fr, le nom d'utilisateur mallory et le mot de passe mallory.

Démarrer le serveur de messagerie.



2. Afficher le bureau de la machine de Bob d'IP 192.168.1.1, installer un client de messagerie et configurer le compte. Quels sont les rôles des protocoles de service réseau SMTP et POP3 ?

On voit apparaître de nouveaux paramètres d'adresse, les **ports**, qui identifient non pas des machines mais des applications de service réseau (25 pour SMTP et 110 pour POP3).



3. Installer un client de messagerie et paramétrer le compte pour les machines d’Alice 192 . 168 . 1 . 3 et de Mallory 192 . 68 . 2 . 1 .
4. Depuis la machine de Bob, envoyer un message à Alice, puis afficher les données échangées sur l’interface 192 . 68 . 1 . 1 .

No.	Date	Source	Destination	Prot...	Couche	Commentaire
15	20:43:...	192.168.1.1	192.168.1.254	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée...
16	20:43:...	192.168.1.254	192.168.1.1	ARP	Internet	192.168.1.254: 59:68:22:9E:2A:CF
17	20:43:...	192.168.1...	192.168.2...	TCP	Transp...	SYN, SEQ: 3914173499
18	20:43:...	192.168.2...	192.168.1...	TCP	Transp...	SYN, SEQ: 3861697781, ACK: 3914173500
19	20:43:...	192.168.1...	192.168.2...	TCP	Transp...	SEQ: 3914173500, ACK: 3861697782
20	20:43:...	192.168.2...	192.168.1...	Applic...		220 Bienvenue sur parc.fr
21	20:43:...	192.168.1...	192.168.2...	TCP	Transp...	SEQ: 3914173500, ACK: 3861697807
22	20:43:...	192.168.1...	192.168.2...	Applic...		HELO 192.168.1.1
23	20:43:...	192.168.2...	192.168.1...	TCP	Transp...	SEQ: 3861697807, ACK: 3914173516
24	20:43:...	192.168.2...	192.168.1...	Applic...		250 Hello 192.168.1.1
25	20:43:...	192.168.1...	192.168.2...	TCP	Transp...	SEQ: 3914173516, ACK: 3861697828
26	20:43:...	192.168.1...	192.168.2...	Applic...		MAIL FROM: <bob@parc.fr>
27	20:43:...	192.168.2...	192.168.1...	TCP	Transp...	SEQ: 3861697828, ACK: 3914173540
28	20:43:...	192.168.2...	192.168.1...	Applic...		250 Expéditeur OK

No.: 20 / Date: 20:43:52.382	
Réseau	Source: 59:68:22:9E:2A:CF
	Destination: 63:5A:B8:0B:5B:31
	Commentaire: 0x800
Internet	Source: 192.168.2.2
	Destination: 192.168.1.1
	Protocole: IP
	Commentaire: Protocole :6, TTL: 63
Transport	Source: 25
	Destination: 32435
	Protocole: TCP
	Commentaire: SEQ: 3861697782
Application	Commentaire: 220 Bienvenue sur parc.fr

- a. Identifier les quatre couches **Réseau**, **Internet**, **Transport** et **Application** qui constituent les différents entêtes encapsulant le paquet de données numéroté 20 dans l’image précédente. Pour chaque entête, déterminer la paire d’adresses et ce qu’elles permettent d’identifier.
- b. Dans quelle couche s’exécute le protocole IP? et le protocole TCP?

- c. Lire l'article de Wikipedia sur l'ouverture d'une connexion TCP : https://fr.wikipedia.org/wiki/Three-way_handshake. Repérer la *poignée de main en trois temps* dans la figure précédente.
- d. Le message émise par Bob est-il envoyé directement à la machine d'Alice? L'envoi du message est-il effectué un en seul paquet? Décrire les étapes du protocole **SMTP** qui permet d'envoyer un message.
- e. On observe dans l'échange une alternance de messages successifs entre les machines d'interfaces 192.168.1.1 et 192.168.2.2? Un paquet avec un entête de couche application (protocole **SMTP**) est toujours suivi d'un paquet sans entête application mais avec un entête TCP portant le commentaire ACK. En Anglais, ACK signifie acquittement, quel peut être le rôle de ces paquets?
- f. Dans l'image ci-dessous, Repérer le paquet qui contient les données du message. Combien de paquets sont échangés pour fermer la connexion TCP?

No.	Date	Source	Destination	Prot...	Couche	Commentaire
26	20:50:...	192.168.1.1...	192.168.2.2...		Applic...	From: bob <bob@parc.fr> To: <alice@...
27	20:50:...	192.168.2.2...	192.168.1.1...	TCP	Transp...	SEQ: 1103451936, ACK:1101777141
28	20:50:...	192.168.2.2...	192.168.1.1...		Applic...	250 Message en attente d'acheminement
29	20:50:...	192.168.1.1...	192.168.2.2...	TCP	Transp...	SEQ: 1101777141, ACK:1103451973
30	20:50:...	192.168.1.1...	192.168.2.2...		Applic...	QUIT
31	20:50:...	192.168.2.2...	192.168.1.1...	TCP	Transp...	SEQ: 1103451973, ACK:1101777145
32	20:50:...	192.168.2.2...	192.168.1.1...		Applic...	221 Connexion fermée par le serveur.
33	20:50:...	192.168.1.1...	192.168.2.2...	TCP	Transp...	SEQ: 1101777145, ACK:1103452009
34	20:50:...	192.168.1.1...	192.168.2.2...	TCP	Transp...	FIN, SEQ: 1101777145
35	20:50:...	192.168.2.2...	192.168.1.1...	TCP	Transp...	FIN, SEQ: 1103452009
36	20:50:...	192.168.1.1...	192.168.2.2...	TCP	Transp...	SEQ: 1101777145, ACK:1103452009
37	20:50:...	192.168.2.2...	192.168.1.1...	TCP	Transp...	SEQ: 1103452009, ACK:1101777145

```

Réseau
  Source: 63:5A:B8:0B:5B:31
  Destination: 59:68:22:9E:2A:CF
  Commentaire: 0x800
Internet
  Source: 192.168.1.1
  Destination: 192.168.2.2
  Protocole: IP
  Commentaire: Protocole :6, TTL: 64
Transport
  Source: 53303
  Destination: 25
  Protocole: TCP
  Commentaire: SEQ: 1101777052
Application
  Commentaire:
    From: bob <bob@parc.fr>
    To: <alice@parc.fr>
    Subject: test

    Bonjour Alice,
    C'est Bob
  
```

- 5. Depuis la machine d'Alice, récupérer le message de Bob depuis son client de messagerie et observer les données échangées. Quel protocole de la couche application est utilisé? Quelles similarités peut-on observer dans les échanges de données par rapport à l'envoi d'un message?

Client de messagerie

Supprimer le message Paramétrer le compte

	Expéditeur	Sujet
bob		test

Bonjour Alice,
C'est Bob.

No.	Date	Source	Destination	Prot...	Couche	Commentaire
23	20:59:...	192.168.1.3	192.168.1.254	ARP	Internet	Recherche de l'adresse MAC associée...
24	20:59:...	192.168.1.254	192.168.1.3	ARP	Internet	192.168.1.254: 59:68:22:9E:2A:CF
25	20:59:...	192.168.1....	192.168.2....	TCP	Transp...	SYN, SEQ: 1598604288
26	20:59:...	192.168.2....	192.168.1....	TCP	Transp...	SYN, SEQ: 1450334830, ACK:1598604289
27	20:59:...	192.168.1....	192.168.2....	TCP	Transp...	SEQ: 1598604289, ACK:1450334831
28	20:59:...	192.168.2....	192.168.1....		Applic...	+OK POP3 server ready
29	20:59:...	192.168.1....	192.168.2....	TCP	Transp...	SEQ: 1598604289, ACK:1450334852
30	20:59:...	192.168.1....	192.168.2....		Applic...	USER alice
31	20:59:...	192.168.2....	192.168.1....	TCP	Transp...	SEQ: 1450334852, ACK:1598604299
32	20:59:...	192.168.2....	192.168.1....		Applic...	+OK enter password
33	20:59:...	192.168.1....	192.168.2....	TCP	Transp...	SEQ: 1598604299, ACK:1450334870

6. Envoyer un message d'Alice vers Bob en mettant en copie Mallory. Observer les échanges de données.

Dans cet exercice, on a pu observer plusieurs principes des échanges de données dans un réseau informatique : l'importance des protocoles et leur organisation en couches fonctionnelles et le découpage des données en paquets.