



by Frédéric Senny
2024-2025, v0.8.2

HEL...
MO / **GRAMME**
Ecole d'ingénieur.e.s



1 Objectif 🎯

Envie d'apprendre la structure et l'architecture d'un réseau informatique 🖥 de manière interactive 🗨 et collaborative 🤝 ? Les protocoles tels que DHCP, HTTP, MQTT, TCP, UDP, IP et Ethernet, sont nébuleux 🤔 ? Tout cela n'aura plus de secret pour vous.

2 Un scénario 📖, des joueurs 😊, chacun son rôle 🧐

Chaque scénario est mis en scène par un groupe de 5 à 6 étudiants, chacun incarnant un élément du réseau avec des rôles tels que serveur, client, routeur/commutateur, ou perturbateurs (hacker, source de bruit).

Le joueur "perturbateur" est également le maître du jeu et dirige le scénario grâce aux cartes scénario et/ou aux activités sur la page Learn dédiée au jeu.

Les premiers scénarios font explicitement intervenir les machines internes "switch/routeurs". Les scénarios suivants se focalisent davantage sur les échanges clients-serveurs dans des applications spécifiques, et leurs réactions face aux perturbations.

3 Matériel 🛠

La boîte de jeu contient des légos et des cartes:

- 🧱 Des **légos** pour représenter les machines et les trames réseau ;
- 📄 Des **cartes** "rôle", "scénario (une couleur par scénario) ainsi que des "questions" et "événements" propres à chaque scénario ;
- des **pions** "erreur" et "maîtrise" ;
- 🎲 un **dé** à 6 faces ;
- 🖍 un **marqueur** effaçable, pour écrire sur les légos.



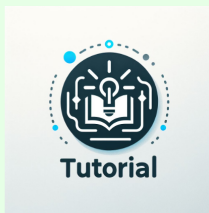
👉 Le rôle "perturbateur" est aussi le maître du jeu. Il gère le scénario avec les cartes comme guide, où les informations pointées par le symbole "👉" peuvent être divulguées aux joueurs ou pas ...

👉 Chaque scénario a un jeu de cartes et une couleur dédiées.

👉 Les questions développent les connaissances et les événements "perturbateur" génèrent des imprévus qui modifient le scénario (pannes, attaques, etc.).



Scénario TUTO
Etape 1 - ENVOI DATA



Le serveur 2 doit composer la trame de données à destination du client 1. Construisez et annotez la trame. Quels ports source et destination ? Quelles adresses IP source et destination ?

👉 Utiliser TCP, Port (S) = 80, Port (D) = 1234, IP (S) = 192.168.1.22, IP (D) = 192.168.1.11

👉 Logo des joueurs qui interviennent

👉 Descriptif de l'étape du scénario

👉 Actions et annotations attendues.
A divulguer ou non aux joueurs

Scénario TUTO
? QUESTION Routeur ?



De combien d'octets est composé la charge utile d'une trame Ethernet, 500 - 1000 - 1500 - 2500 ?

Réponse : 1500

+3 si ☒ -1 si ☒

👉 Question pour un joueur ayant le rôle "Routeur"

👉 Réponse attendue

👉 Bonus ou malus

4 Une partie 🎮 se déroule en 3 temps

1. MISE EN PLACE 📄 : Les rôles et le scénario joué sont expliqués 🎯. Une topologie réseau 🌐 et sa table de routage sont choisies. Ensuite, la plaque de jeu légo 🧱 est construite à l'image de la topologie. Chaque joueur choisit alors un rôle 🧑🏻 et prend la carte correspondante. Enfin, faire 5 tas de cartes avec les cartes "questions" (un tas par rôle), "perturbations" et "scénario".
2. SIMULATION : Le "perturbateur" suit le scénario décrit sur les cartes "scénario" 🔄. Chaque carte précise quel(s) joueur(s) entre(nt) en action et les annotations attendues (👉 à divulguer ou pas). L'action d'un joueur se découpe comme suit :
 - (a) **Déclenchement de l'action** 🧑🏻 : le joueur explique son action 🗨️, (dé/re-)construit 🧱 et annote 🖋️ la trame réseau avec les légos (instructions à la page suivante).
 - (b) **Question "rôle"** ? : une question propre au rôle du joueur actif lui est posée (limiter les recherches Google et l'IA générative, l'objectif est d'apprendre) ...Noter si la réponse est juste ✅ ou pas ❌.
 - (c) **Jet de compétence d'action** 🎲 : le joueur lance un D6 et ajoute un bonus ou un malus selon la réponse à la question ;
 - 👉 Si le résultat du jet **D6 + bonus – malus** ≥ 5 , alors continuez.
 - 👉 Sinon, un événement perturbateur a lieu.
 - (d) **Événement perturbateur** 😈 : le jet de dé est raté ? Un événement perturbateur est déclenché, forçant les joueurs à réagir. Une situation est décrite, une question ? est posée au groupe et le groupe décide quoi faire. Une fois la perturbation résolue, la simulation se poursuit avec le joueur suivant jusqu'à atteindre la fin du scénario.
3. DÉBRIEFING 🗣️ : retour sur la session et explication des concepts appris.

👉 [Niveau **débutant**] Les débutants peuvent se limiter à l'étape (a) Déclenchement de l'action afin de comprendre les mécanismes de base avec les légos.

👉 [Niveau **intermédiaire**] Les joueurs peuvent dynamiser et pimenter leur partie en réduisant les manipulations légo et en intégrant (b) Question rôle, (c) Jet de compétence et (d) Événement perturbateur.

👉 [Niveau **expert**] Pour pimenter davantage votre partie, vous pouvez intégrer les pions erreur et maîtrise :

- un **pion erreur** ■ est obtenu par le joueur actif si une erreur de manipulation/d'annotation avec les légos est relevée ;
- un **pion maîtrise** ■ est gagné par le joueur perspicace qui a relevé l'erreur.

Les pions sont utilisés lors du jet de compétence :

- le joueur *a* un malus de 1 pour chaque pion "erreur" en sa possession (ceux-ci sont alors dépensés et remis dans la boîte) ;
- le joueur *peut* dépenser un pion de maîtrise pour avoir un bonus de 1 ;

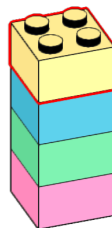
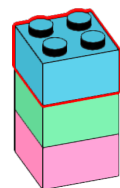
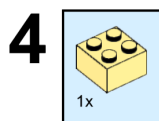
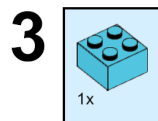
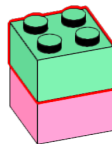
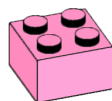
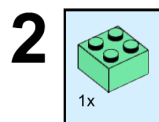
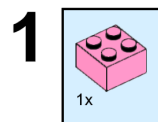


5 Instructions de montage Lego

Chaque couche matérielle/logicielle a une couleur dédiée.

Utilisez des blocs 2x2, 3x2 ou 4x2 pour construire vos machines. Les blocs cylindriques sont parfaitement adaptés aux routeurs.

Couche	couleur légo
Données	gris ou blanc
Application	jaune
Transport	bleu
Réseau IP/Internet	vert
Liaison/Physique	rose ou brun



Et voilà une machine type client/serveur

Annoter la couche APP avec son nom
Exemple : C1 pour Client 1, S2 pour
Serveur 2, etc ...

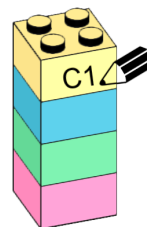


Figure 1: Instructions de construction d'une machine. Un routeur n'est composé que des 2 couches basses (brun et vert dans cet exemple).

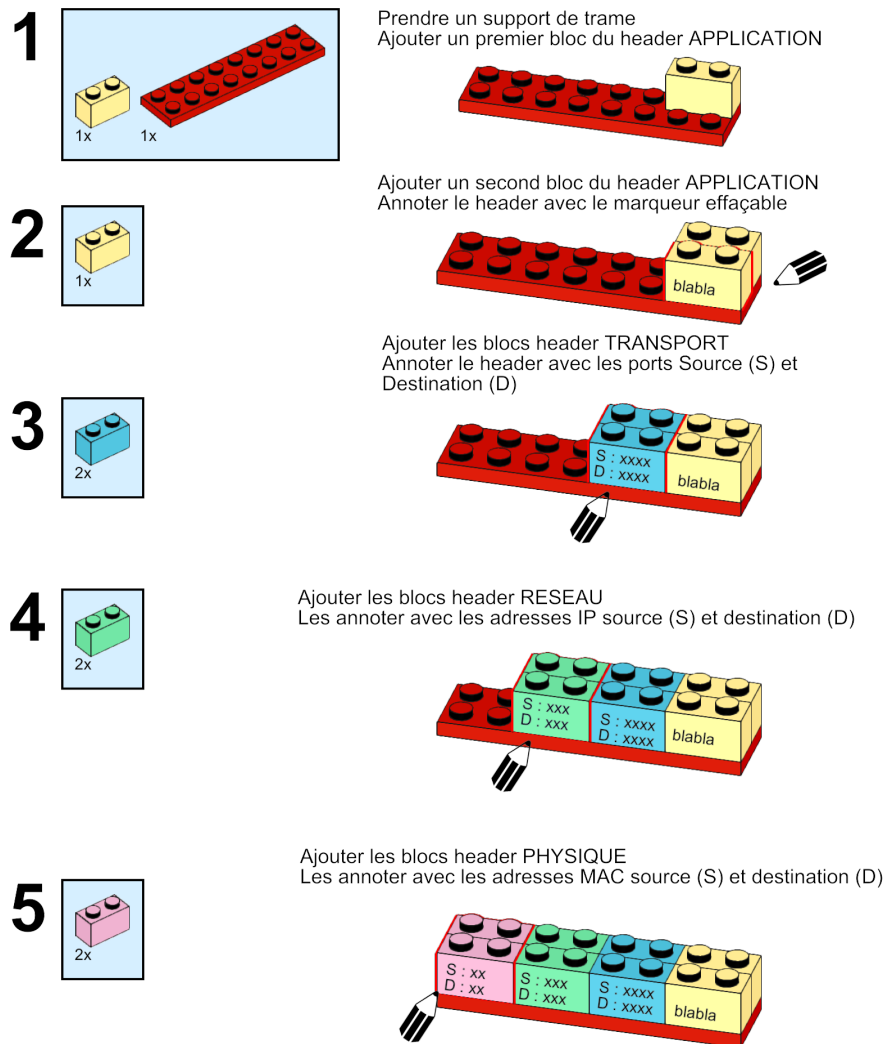
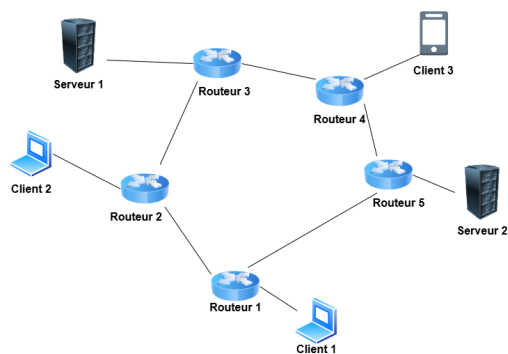


Figure 2: Instructions de construction d'une trame. Il est nécessaire de l'annoter avec un marqueur effaçable.

6 Exemple d'une partie

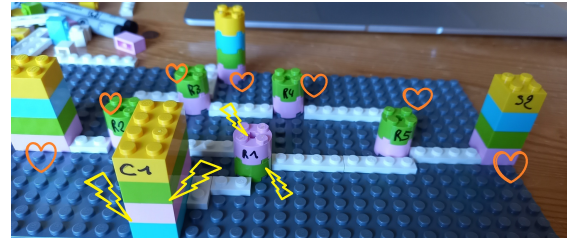
Nous allons jouer le tutoriel avec les cartes vertes. Nous suivons 4 joueurs : Leia, Luke, Obiwan et Vader. Règles suivies : simplement la construction des trames et usage des tables de routage.

Situation du mini-scénario : Soit un réseau de machines suivant la topologie 1 (schéma fourni dans les pages suivantes).



Le client 1 a établi une connexion TCP avec le serveur 2 et lui a transmis une requête HTTP pour obtenir les données d'une page web. Le serveur 2 doit maintenant lui transmettre ...

Mise en place : les machines ont été construites en respectant les instructions de montage (cf pages suivantes). Enfin presque, les couches du routeur 1 (R1) et du client 1 (C1) ne respectent pas celles des autres. L'équipe revérifie, c'est bon maintenant.



Rôles : Les joueurs se sont répartis les rôles comme suit

Joueur	Rôle	Logo
Leia	Perturbateur	
Luke	Client 1	
Obiwan	Routeurs	
Vader	Serveur 2	

C'est parti ! : Leia rappelle que le client 1 a envoyé une requête sur le port (D) 80, à partir de son port (S) 1234. Les adresses IP sont celles de la table de routage de la topologie 1 :

Machine	Adresse IP	Adresse MAC
Client 1	192.168.1.11	...:33:44:01
Routeur 1	192.168.1.1	...:33:44:07
Routeur 5	192.168.1.5	...:33:44:11
Serveur 2	192.168.1.22	...:33:44:06

Etape 1 : Le serveur 2 doit composer la trame de données à destination du client 1. C'est au tour de Vader :

Vader – En tant que serveur, ma couche application crée une trame en réponse à la demande du client 1. Je connais son IP et le port de destination (1234). Sur le support, j'ajoute le bloc de données (2x2 gris), puis le header application HTTP (jaune). Le header de ma couche Transport contient le port source (S) 80 et destination (D) 1234. *Leia* – Mais quel protocole de couche transport utilises-tu ? UDP ou TCP ?

Vader – TCP, car on a établi une connexion et on veut une communication fiable, avec accusé de réception.

Leia – "All too easy", comme tu dirais

Vader – 😊 Ma couche réseau IP ajoute son header avec mon IP comme source et l'IP du client 1 comme destination. Il reste le header liaison/physique avec les adresses MAC (S) ...:06 et (D) ...:01.

Obiwan – Hello there ! Non, elle passe par les routeurs. C'est l'adresse MAC du routeur 5 en destination.

Vader – Non !

Obiwan – Ta manque de foi me consterne.

Vader – Hé, c'est ma réplique 😊. Ceci dit, tu as raison, du coup MAC (D) ...:11. Voici ma trame



Etape 2 : Le routeur 5 reçoit le paquet. Qui joue le routeur 5 ? Personne. L'équipe décide que c'est à Obiwan de gérer LES routeurs.

Obiwan – En tant que routeur 5, je vérifie l'adresse MAC, ok, l'adresse IP de destination : 192.168.1.11. Ma table dit que pour une "Destination Hop" de 192.168.1.11 (c'est la dernière ligne), je passe par 192.168.1.1 (c'est le routeur 1). C'est logique. Et hop, j'envoie ...

Leia – Tu dois d'abord désencapsuler puis réencapsuler, en modifiant au moins l'adresse MAC du prochain saut (hop), et respecte bien les couleurs.

Obiwan – De fait. Voilà ma trame



Obiwan – Le routeur 1 reçoit le paquet et fait le même chose.

Leia – Oui mais j'impose un événement perturbateur (c'est mon droit, 1 x / partie). Je lis la carte : "Un câble de communication est légèrement endommagé, produisant une modification dans le signal physique. Le paquet est corrompu". Cooool, le numéro de port (D) est modifié et vaut maintenant 4321.

Luke, Vader et Obiwan – Zut, flûte, crotte, caca, boudin.

Etape 3 : Le client 1 reçoit le paquet de données. C'est à Luke de jouer.

Luke – Je check la trame. Adresse MAC, OK. Adresse IP, OK. On arrive à ce port corrompu.

Vader – Qui traites-tu de porc corrompu ? Ton vieux père ? 😁

Luke – C'est une blague à papa, qui vaut bien un lauréat 😁. Bref, comme dirait Pépín, Le port est 4321. Je ne sais pas ce que je dois faire.

Leia – Ton logiciel écoute le port 1234, mais pas le 4321. Cette porte est fermée.

Luke – Il ne se passe rien alors ?

Leia – Oui, et le paquet est détruit.

Etape 4 : Et après que faire ?

Leia lit la question sur la carte.

Leia – Que faites-vous pour que le client reçoivent les data ?

Vader – Ben je les lui renvoie !

Leia – Comment peux-tu savoir qu'il ne les a pas reçues ?

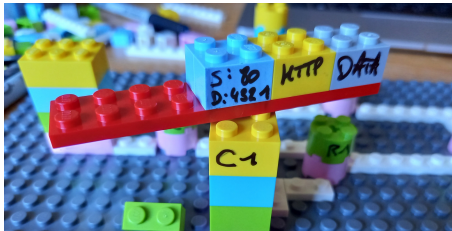
Le groupe – ...

Obiwan – Je sais qu'il y a eu problème ?

Leia – Non, et de toute façon, tu n'analyses pas le contenu du paquet, ce n'est pas ton rôle.

Luke – Alors, je dois renvoyer ma requête pour obtenir les données ?

Leia – En effet.



Etape 5 : Renvoi de la requête

Luke compose sa trame de requête, qui suivra le chemin inverse ...

- 👉 Vous pouvez rejouer ce scénario si vous le souhaitez.
- 👉 Vous pouvez aussi ajouter les quelques questions "rôle" dans ce mini-scénario, ainsi que le jet de dé.
- 👉 Si un événement perturbateur a lieu, le paquet sera corrompu.

7 Liste des scénarios

Le contexte exact ainsi que les étapes de chaque scénario sont déclinés sous forme de cartes ou d'activités sur la page Learn dédiée.

Voici une liste de scénarios implémentés ou à venir,

1. Tutoriel de ce livret [cartes vertes]
2. Protocole DHCP [cartes bleues]
3. Requête HTTP, serveur non sécurisé [cartes jaunes]
4. Visioconférence avec établissement TCP et flux vidéo UDP [cartes violettes]
5. Envoi et réception d'un email (protocole SMTP & POP ou IMAP)
6. Regarder une vidéo sur YouTube
7. Connexion à un broker MQTT et souscription à un abonnement
8. Connexion à un broker, un client publie à un topic et deux autres clients reçoivent le message (car ils ont souscrit un abonnement à ce topic)
9. ...

Pour ces scénarios, vous pouvez exploiter ou vous inspirer des topologies et tables de routage proposées en fin de ce livret.

8 Topologie 1 : Machines et Tables de Routage

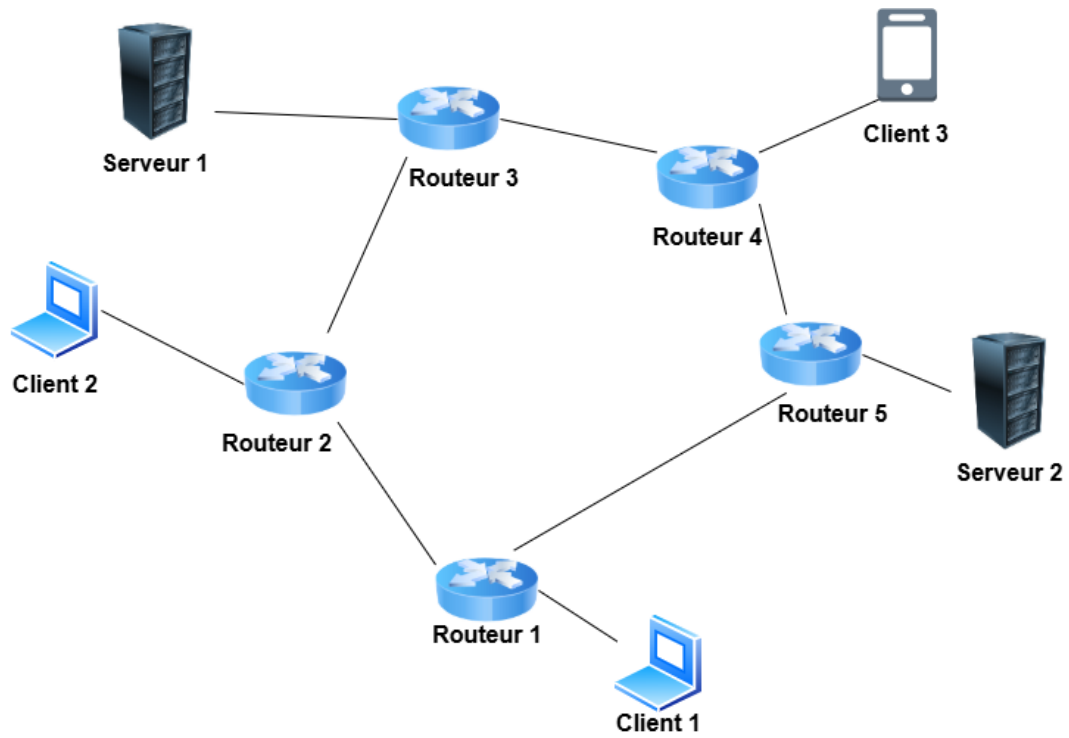


Figure 3: (ci-dessus) Topologie du réseau. (à droite) Tables de Routage des Clients, Serveurs et Routeurs - Topologie 1.

Destination IP	Next Hop	Adresse MAC	Next Hop	Coût
Client 1, IP=192.168.1.11, MAC=00:11:22:33:44:01				
Default	192.168.1.1	00:11:22:33:44:07		1
192.168.1.21	192.168.1.1	00:11:22:33:44:07		1
192.168.1.22	192.168.1.1	00:11:22:33:44:07		2
Client 2, IP=192.168.1.12, MAC=00:11:22:33:44:02				
Default	192.168.1.2	00:11:22:33:44:08		1
192.168.1.21	192.168.1.2	00:11:22:33:44:08		1
192.168.1.22	192.168.1.2	00:11:22:33:44:08		2
Server 1, IP=192.168.1.21, MAC=00:11:22:33:44:05				
Default	192.168.1.3	00:11:22:33:44:09		1
192.168.1.11	192.168.1.3	00:11:22:33:44:09		1
192.168.1.12	192.168.1.3	00:11:22:33:44:09		2
Server 2, IP=192.168.1.22, MAC=00:11:22:33:44:06				
Default	192.168.1.5	00:11:22:33:44:11		2
192.168.1.12	192.168.1.5	00:11:22:33:44:11		2
192.168.1.21	192.168.1.5	00:11:22:33:44:11		1
Router 1, IP=192.168.1.1, MAC=00:11:22:33:44:07				
Default	192.168.1.2	00:11:22:33:44:08		2
192.168.1.21	192.168.1.2	00:11:22:33:44:08		2
192.168.1.22	192.168.1.5	00:11:22:33:44:11		2
Router 2, IP=192.168.1.2, MAC=00:11:22:33:44:08				
Default	192.168.1.3	00:11:22:33:44:09		1
192.168.1.21	192.168.1.3	00:11:22:33:44:09		1
192.168.1.22	192.168.1.1	00:11:22:33:44:07		2
Router 3, IP=192.168.1.3, MAC=00:11:22:33:44:09				
Default	192.168.1.4	00:11:22:33:44:10		1
192.168.1.22	192.168.1.4	00:11:22:33:44:10		1
Router 4, IP=192.168.1.4, MAC=00:11:22:33:44:10				
Default	192.168.1.5	00:11:22:33:44:11		1
Router 5, IP=192.168.1.5, MAC=00:11:22:33:44:11				
Default	192.168.1.1	00:11:22:33:44:10		1
192.168.1.21	192.168.1.4	00:11:22:33:44:10		1
192.168.1.11	192.168.1.1	00:11:22:33:44:07		3

9 Topologie 2 : Machines et Tables de Routage

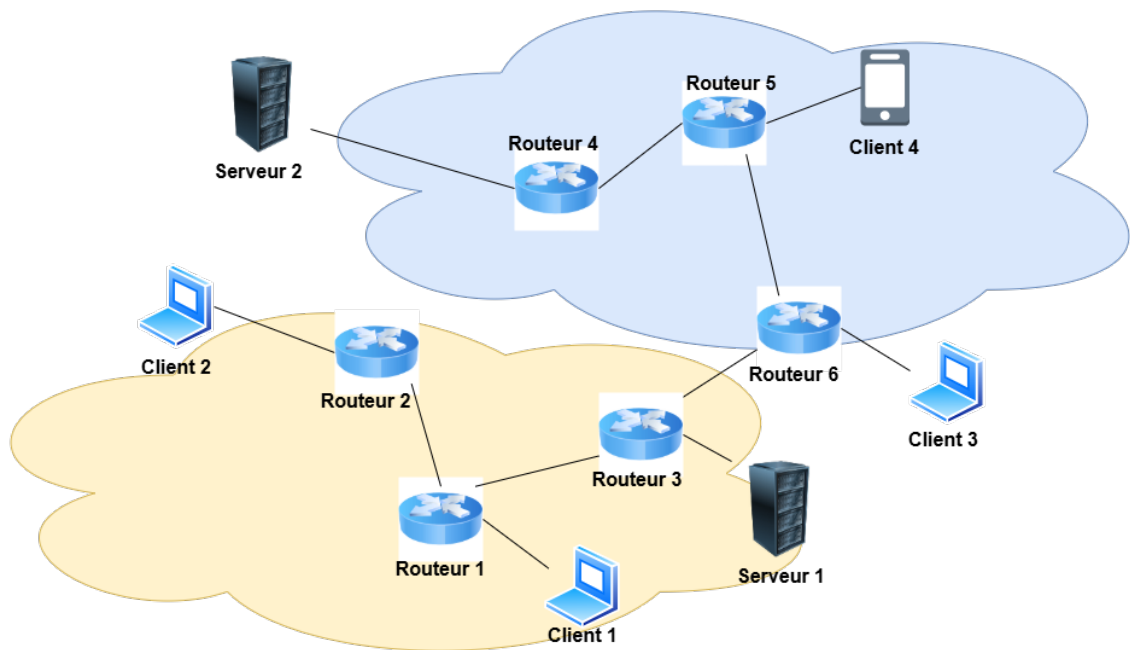


Figure 4: (ci-dessus) Topologie du réseau. (à droite) Tables de Routage des Clients, Serveurs et Routeurs - Topologie 2.

Destination IP	Next Hop	Adresse MAC Next Hop	Coût
Client 1, IP=192.168.10.101/24, MAC=00:11:22:33:44:01			
Default	192.168.10.1	00:11:22:33:44:07	1
192.168.10.201	192.168.10.1	00:11:22:33:44:07	1
Gateway	192.168.10.1	00:11:22:33:44:07	1
Client 3, IP=192.168.20.103/24, MAC=00:11:22:33:44:03			
Default	192.168.20.6	00:11:22:33:44:12	2
192.168.20.202	192.168.20.5	00:11:22:33:44:11	2
Gateway	192.168.20.6	00:11:22:33:44:12	2
Server 1, IP=192.168.10.201/24, MAC=00:11:22:33:44:05			
Default	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	1
192.168.10.101	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	1
Gateway	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	1
Server 2, IP=192.168.20.202/24, MAC=00:11:22:33:44:06			
Default	192.168.20.4	00:11:22:33:44:10	2
192.168.20.103	192.168.20.4	00:11:22:33:44:10	2
Gateway	192.168.20.4	00:11:22:33:44:10	2
Router 1, IP=192.168.10.1/24, MAC=00:11:22:33:44:07			
Default	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	1
192.168.10.201	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	1
Gateway	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	1
Router 3 - Gateway, IP=192.168.10.3, MAC=00:11:22:33:44:08			
Default	192.168.10.1	00:11:22:33:44:07	1
192.168.10.201	-	00:11:22:33:44:05	1
192.168.20.0	192.168.20.6	00:11:22:33:44:12	2
Router 4, IP=192.168.20.4/24, MAC=00:11:22:33:44:11			
Default	192.168.20.5	00:11:22:33:44:11	2
192.168.20.202	-	00:11:22:33:44:06	2
Gateway	192.168.20.5	00:11:22:33:44:11	2
Router 6 - Gateway, IP=192.168.20.6, MAC=00:11:22:33:44:12			
Default	192.168.20.5	00:11:22:33:44:11	1
192.168.20.103	-	00:11:22:33:44:03	1
192.168.10.0	192.168.10.3	00:11:22:33:44:09	2

Conception et droits d'usage

Frédéric Senny.



Des ressources ont été générées avec l'aide de l'intelligence artificielle.

Les ressources de ce jeu sont mises à disposition en Creative Commons CC-BY-NC-SA 4.0.



Remerciements

Remerciements à mes amis et collègues beta-testeurs : Brice, Philippe, Nicolas, Simon, Andrée-Anne, Fabien, Damien et Jonathan. La liste est bien plus longue si j'ajoute tous mes étudiants qui ont bravé une première expérience avec une version non finalisée. Merci à tous pour vos feedback constructifs.

Remerciements à l'équipe d'Azaogames pour les services rendus, et d'avoir permis de concrétiser ce projet d'une belle manière.