



ANNÉE 2022/2023

TP n° 7 : BGP

NET4101

Ingénieur généraliste, 2ème année

Ce document est soumis à une licence Creative Commons Attribution
Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International –

Rédacteurs

Rémy Grünblatt

Maître de conférences

remy.grunblatt@telecom-sudparis.eu

Jehan Procaccia

Ingénieur systèmes et réseaux

jehan.procaccia@imtbs-tsp.eu

Équipe enseignante

Andrea Araldo

Maître de Conférences

andrea.araldo@telecom-sudparis.eu

Laurent Bernard

Directeur d'études

laurent.bernard@telecom-sudparis.eu

Franck Gillet

Ingénieur R&D – Plateforme

franck.gillet@telecom-sudparis.eu

Antoine Lavignotte

Directeur d'études

antoine.lavignotte@telecom-sudparis.eu

À lire avant le début du TP

Le réseau de réseaux Internet repose sur le protocole BGP¹ – *Border Gateway Protocol* – défini dans la RFC 4271 pour sa version 4 (BGP-4) qui est la version utilisée en 2022. Avant de rentrer dans les détails du protocole, il est nécessaire de s'intéresser à la *gouvernance* d'Internet et de faire quelques rappels sur les algorithmes de routage

Qui dirige et gère Internet ?

Personne, et tout le monde à la fois! Internet, ce n'est pas une structure rigide comme celle d'un gouvernement (par exemple français) où un chef est *théoriquement* bien identifié (le premier ministre). Internet ressemble plus à une *anarchie* dans le sens où son évolution n'est pas organisée autour de rapports de pouvoir « verticaux » venant « d'en haut », mais autour de l'assemblage d'organisations – souvent des associations à but non lucratif de droit américain – plus ou moins informelles. Sur la figure 1, on peut voir les logos de quelques unes de ces organisations, et parmi les plus importantes pour Internet : l'ICANN, l'IETF et l'IRTF, ou encore l'Internet Society. Pour expliquer ce fractionnement de la gouvernance d'Internet, tant au niveau technique que politique, on peut se rappeler qu'Internet est un *réseau de réseaux* qui s'étend à travers les frontières géographiques, politiques et qui a évolué de manière « *organique* » sur plusieurs décennies. Pour faire bref, sur Internet, il n'y a pas un chef qui décide.



FIGURE 1 – « Gouvernance » de l'Internet

L'IETF est un organisme de normalisation dont le but est d'élaborer et de promouvoir les nouveaux standards au cœur d'Internet, à travers les RFCs (Request for comments), avec des applications à court terme, l'IRTF s'occupe plutôt de la partie *recherche* à long terme autour d'Internet, l'Internet Society chapeaute ces organismes à travers son rôle de coordination des organismes ayant trait à Internet. L'ICANN s'occupe quant à elle d'administrer des ressources importantes (et limitées) sur Internet, en particulier l'adressage IP et les TLD (top-level domain name). En pratique, l'ICANN délègue ses missions à des organismes régionaux comme le RIPE NCC, gérant les adresses IP pour les régions Europe, Moyen-Orient et (en petite partie) Asie², ou à des organismes nationaux comme l'AFNIC qui gère notamment les domaines internet nationaux de premier niveau de la France (.fr, .re, .tf, .yt, .pm et .wf).

Comment sont réparties les ressources limitées d'Internet ?

Les adresses IP sont une ressource limitée (au même titre que les noms de domaines) : il n'en existe que 2³² en IPv4 et 2¹²⁸ en IPv6. Il est donc nécessaire de les répartir d'une certaine manière, et cette répartition, c'est l'ICANN, à travers sa fonction d'autorité gestionnaire des assignations de numéros d'Internet (IANA, pour Internet Assigned Numbers Authority) ses registres régionaux, qui s'en occupe.

En pratique, pour « posséder » des adresses IPs, il faut être adhérent à un registre régional, par exemple le RIPE NCC en Europe, c'est-à-dire s'acquitter d'environ 1400€ de frais d'adhésion chaque année. En échange de cette adhésion, il est possible de demander au RIPE NCC un préfixe IPv6³ d'une taille allant de /29 à /32, c'est-à-dire entre 2¹²⁸⁻²⁹

1. Bien évidemment, Internet repose aussi sur TCP/IP, et le fonctionnement de BGP est intimement lié à TCP/IP.

2. Les autres registres régionaux sont LACNIC, l'AfriNIC, l'APNIC, et l'ARIN.

3. Le RIPE NCC n'a plus de préfixe IPv4 depuis le 25 novembre 2019 : tous ont été distribués!

et 2^{128-32} adresses différentes⁴ et un numéro de système autonome : un *ASN*, pour Autonomous System Number. Ce numéro sert à représenter un AS (Autonomous System), qui est la brique de base d'Internet : un AS est un réseau contrôlé par une unique entité. Un AS peut par exemple être un opérateur télécom, une grande entreprise, un hébergeur, ... Par exemple, Orange (ex-France Télécom) possède les numéros d'AS 2335, 5511 et 3215, Free possède le numéro d'AS 12322, Télécom-Sudparis possède le numéro d'AS 2094, OVH le 16276 et Peugeot le 16236.

Chaque AS est libre de faire ce qu'il lui plaît avec ses adresses IPs. En particulier, il peut les utiliser exclusivement sur son réseau interne, pour identifier et localiser des machines qui n'hébergent que des services internes. Il peut aussi les utiliser en interne et sur Internet : c'est ce qui est par exemple fait à Télécom-Sudparis, où des adresses « publiques » sont utilisées pour identifier les machines, sur les LANs et dans le réseau de Télécom-Sudparis, mais aussi sur Internet. C'est intéressant, car cela me permet de recevoir et d'envoyer mes emails via les serveurs SMTP de Télécom-Sudparis, ou encore d'aller visiter le site web de l'école, depuis chez moi, où je suis connecté à Internet via l'opérateur Free, de la même manière que lorsque je suis sur le réseau de l'école.

Rappel autour des protocoles de routage

Le routage consiste à trouver un chemin entre un expéditeur et une destination : sur Internet, il s'agit de trouver une série de routeurs entre un réseau source et un réseau de destination, l'acheminement à l'intérieur du réseau source et du réseau de destination dépendant de leurs technologies respectives (Ethernet, Wi-Fi, ...). Le routage permet donc à chaque routeur de répondre à la question suivante : si je souhaite envoyer des paquets à l'adresse IP *XXX*, sur quelle interface de sortie (egress) et vers quel routeur (next-hop) dois-je envoyer ces paquets? Dans la suite de cette section, nous considérons la topologie décrite sur la figure 2, et on s'intéressera uniquement à des protocoles de routages dynamiques, capable de réagir à des changements dans la topologie sous-jacente des réseaux :

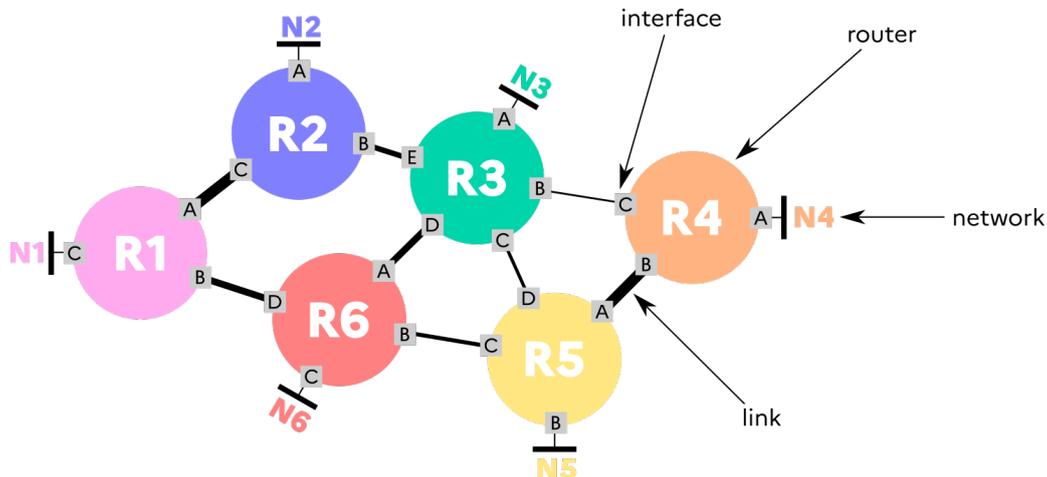


FIGURE 2 – Topologie considérée dans la suite de cette section

Interior Gateway Protocol (IGP) vs. Exterior Gateway Protocol (EGP)

Lorsque l'on décrit des algorithmes de routages, on utilise parfois les termes « IGP » ou « EGP » pour les qualifier. Ces notions d'intérieur et d'extérieur sont liées aux définitions des AS : on parlera d'intérieur pour parler des protocoles de routages qui peuvent être utilisés à l'intérieur d'un AS, et d'extérieur pour parler des protocoles de routages utilisés entre des AS différents. Parmi les IGP classiques, on pourra noter OSPF, IS-IS, RIPng... En pratique, il n'existe plus qu'un unique EGP utilisé de nos jours : BGP. Cependant, BGP peut aussi être utilisé à l'intérieur d'un même et unique AS, permettant à BGP de parfois se comporter comme un IGP! Attention aussi à ne pas confondre IGP et iBGP, EGP et eBGP : iBGP est utilisé pour dire « BGP utilisé à l'intérieur d'un AS », eBGP pour dire « BGP utilisé en bordure d'un AS, à la frontière avec un autre AS ».

Les protocoles à état de liens : OSPF, IS-IS, ...

Vous l'avez vu au TP n°6, il est possible d'utiliser OSPF (un IGP) pour effectuer du routage dynamique à état de liens (link-state routing protocol) à l'intérieur d'un réseau. En particulier, OSPF, basé sur l'algorithme de Dijkstra, en temps que protocole à état de liens, recrée au niveau de chaque routeur une carte de la topologie de l'ensemble du réseau (on suppose une aire unique), carte lui permettant de calculer un arbre de plus court chemin vers l'ensemble des préfixes desservis par les parties exécutants OSPF : chaque routeur possède une vue *globale* de l'ensemble des

4. Il est possible de demander plus qu'un /29, à condition de pouvoir le justifier auprès du RIPE NCC.

réseaux gérés, sous la forme d'un graphe. La figure 3 est une représentation graphique illustrant l'état interne d'un tel protocole de routage : un routeur reconstruit une topologie (à gauche), puis calcule un arbre des plus courts chemins (au milieu) du quel il peut tirer une table de routage.

Un autre protocole (dynamique) bien connu à état de liens est le protocole IS-IS : c'est d'ailleurs le choix effectués par la majorité des gros fournisseurs d'accès à Internet en France, notamment pour son support à peu de frais d'IPv6, là où OSPF a du être re-standardisé dans sa version v3 pour ce support.

Le point de vue adopté est celui du routeur **R3**

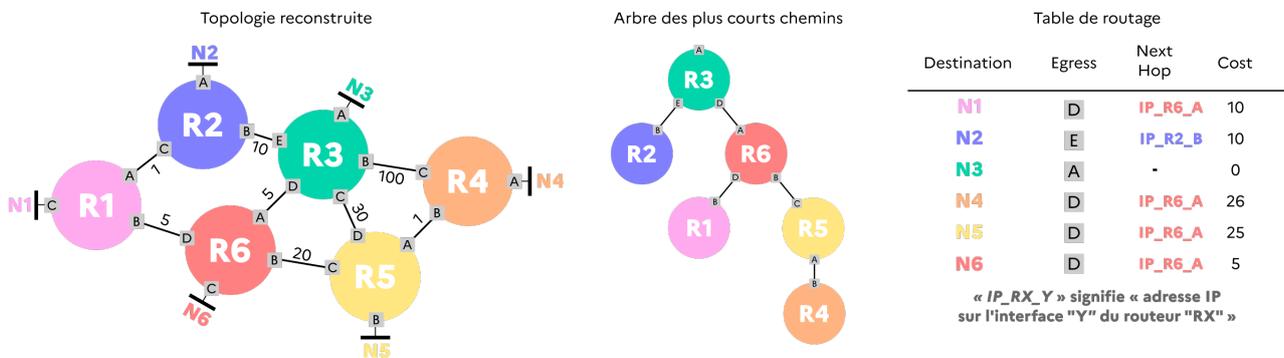


FIGURE 3 – Représentation graphique de ce qui pourrait être l'état interne d'un protocole de routage à état de liens : il s'agit de la topologie de l'ensemble du réseau!

Les protocoles à vecteur de distances : RIP, RIPv2, RIPng, IGRP...

Contrairement aux protocoles à état de liens qui tirent leur nom du fait que les messages échangés entre les routeurs contiennent l'état de leurs liens, ces messages étant échangés avec l'ensemble des routeurs du réseau, dans les protocoles à vecteur de distances (comme RIP), les messages échangés par les routeurs contiennent l'ensemble de leurs tables de routage, mais cette fois ci, ces messages ne sont échangés qu'avec leurs voisins directs, c'est-à-dire avec les voisins avec qui ils partagent un réseau. Ainsi, un routeur ne va pas posséder d'information sur la topologie globale du réseau, mais uniquement sur les *distances* le séparant de différents préfixes. L'état interne d'un routeur d'un tel protocole de routage est par suite bien plus simple : il ne contient pas de topologie reconstruite, ou d'arbre des plus courts chemins : il ne contient que sa table de routage, table qu'il échange avec ses voisins directs, à intervalles réguliers ou lorsqu'il détecte un changement sur ses interfaces.

Le point de vue adopté est celui du routeur **R3**

Table de routage

Destination	Egress	Next Hop	Metric
N1	D	IP_R6_A	2
N2	E	IP_R2_B	1
N3	A	-	0
N4	D	IP_R6_A	1
N5	D	IP_R6_A	1
N6	D	IP_R6_A	1

« IP_RX_Y » signifie « adresse IP sur l'interface "Y" du routeur "RX" »

FIGURE 4 – Représentation graphique de ce qui pourrait être l'état interne d'un protocole de routage à vecteur de distance : il s'agit uniquement de sa table de routage!

Les protocoles à vecteur de chemins...

Un protocole à vecteur de chemins est un protocole très proche d'un protocole à vecteur de distances, cependant, une différence importante existe : au lieu d'échanger des tables de routage où les destinations sont associées à des

métriques sous la forme de coût (nombre de saut, ...), les routeurs échangent... des chemins. Ainsi, les routeurs maintiennent une table de routage, mais en plus de cette table de routage, ils maintiennent aussi une base de données des chemins qu'ils ont reçus. Lorsqu'un routeur R_Z est directement connecté à un réseau N_Z , il envoie un message du type (R_Z, N_Z) à des voisins directement connectés. Ces derniers peuvent désormais savoir que pour rejoindre N_Z , il est possible de passer par R_Y , et propagent à leur tour des messages de type $(R_Y|R_Z, N_Z)$ où R_Y est leur propre identifiant. Petit à petit, dans le réseau, un chemin du type $\dots |R_W|R_X|R_Y|R_Z$ se construit. Pour éviter les boucles, un routeur R_Z ignore les messages contenant des chemins où il apparaît déjà, et pour faciliter le scaling, un routeur ne retransmet que les routes qu'à la condition qu'il les utilise effectivement (donc, le meilleur chemin).

Base de données des chemins				Table de routage			
Destination	Egress	Next Hop	Path	Destination	Egress	Next Hop	Path
N1	E	IP_R2_B	R2 R1	N1	E	IP_R2_B	R2 R1
N1	D	IP_R6_A	R6 R1	N2	E	IP_R2_B	R2
N1	C	IP_R5_D	R5 R6 R1	N3	A	-	-
N2	E	IP_R2_B	R2	N4	B	IP_R4_C	R4
N3	A	-	-	N5	C	IP_R5_D	R5
N4	B	IP_R4_C	R4	N6	D	IP_R6_A	R6
N4	C	IP_R5_D	R5 R4				
N5	C	IP_R5_D	R5				
N6	D	IP_R6_A	R6				
N6	E	IP_R2_B	R2 R1 R6				

« IP_RX_Y » signifie « adresse IP sur l'interface "Y" du routeur "RX" »

FIGURE 5 – Représentation graphique de ce qui pourrait être l'état interne d'un protocole de routage à vecteur de chemins : des chemins vers différents réseaux.

Et BGP dans tout ça ?

BGP est donc un protocole de routage à vecteur de chemins utilisé sur Internet. Sur la figure 4, qui illustre une topologie avec plusieurs routeurs, il suffit de remplacer les routeurs par des AS pour avoir une image de la structure d'Internet d'aujourd'hui : il s'agit simplement d'un changement d'échelle, car chaque AS, composé d'a priori plusieurs routeurs, est abstrait en un unique nœud. Avant de rentrer dans plus de détails sur le fonctionnement de BGP, il peut être important de se poser la question : à quoi sert BGP, et pourquoi utilise-t-on un protocole à vecteur de chemin pour faire de l'EGP ?

Pourquoi un protocole à vecteur de chemin ?

Une raison importante justifiant de l'utilisation d'un protocole à vecteur de chemin au cœur d'Internet est la possibilité de gérer finement des politiques de routage. On pense souvent que la principale raison derrière la non utilisation d'un protocole à état de lien est sa non scalabilité (c'est-à-dire sa difficulté à passer à l'échelle). En effet, un protocole à vecteur de chemin n'a pas à connaître la topologie / le graphe complet du réseau, contrairement à un protocole à état de liens. Ainsi, sur Internet, au 15 octobre 2022, près de 111 432 numéros d'AS ont été attribués, et le nombre d'entrées présentes dans la base de données des chemins d'un routeur BGP approche les 920 000. On comprend tout à fait que relancer très régulièrement un algorithme comme celui de Dijkstra pour trouver l'arbre des plus courts chemins à une telle échelle n'est pas une idée lumineuse. Cependant, au moment de l'introduction de BGP-4, en 1994, le nombre de chemins BGP sur un routeur BGP ne dépassait quelques milliers, et on aurait tout à fait pu considérer une alternative basée sur un protocole à état de liens. La véritable raison derrière le choix d'un protocole à vecteur de chemin est la possibilité de gérer des politiques de routage au niveau de chaque nœud. De telles politiques pourraient par exemple être « évite de faire passer mon trafic par un AS situé dans un pays contre lequel mon pays est actuellement en guerre », ou alors « n'utilise cet AS qui me facture très cher mon transit que si on a pas d'autre choix ». Sans politiques communes et compatibles entre elles sur l'ensemble des AS du réseau, il est difficile de faire fonctionner un protocole à état de liens dont le principe même est d'adopter une vue commune à tous les AS, sur l'ensemble du réseau.

Fonctionnement de BGP

Le fonctionnement général de BGP peut être assimilé à une suite d'étapes s'effectuant en boucle :

1. Des voisins souhaitant peeer entre eux établissent une session TCP sur le port 179 (c'est un protocole pair à pair);
2. Ils échangent des routes avec leurs voisins, routes qui sont enregistrées dans leurs bases de données de chemins BGP (BGP table);
3. Pour chaque préfixe connu, un nœud installe le meilleur chemin (selon ses préférences locales) dans sa table de routage, et propage ce meilleur chemin à ses voisins;
4. Régulièrement, des voisins échangent des messages *keep-alive* pour vérifier qu'ils sont toujours bien connectés, et dans le cas où ils ne le sont plus, mettent à jour leur table de chemins, leur table de routage, et préviennent leurs autres voisins du changement.

Pour son fonctionnement, BGP utilise principalement des messages dont les types sont les suivants :

- **OPEN** : Premier message envoyé après l'établissement de la session TCP, il sert aux pairs à échanger leurs numéros d'AS et quelques paramètres dont la durée du timer « Hold » qui permet de détecter quand un voisin n'est plus joignable;
- **UPDATE** : Les messages de type Update servent à échanger des informations sur les routes et chemins connus des pairs : il contient à la fois des informations sur les nouvelles routes qui sont réalisables (feasible) mais aussi des informations sur les routes qui ne le sont plus (unfeasible) et qui sont donc à supprimer.
- **NOTIFICATION** : Ce message sert à indiquer qu'une erreur a eu lieu (avec un code) : la connexion BGP est arrêtée après l'envoi de ce message;
- **KEEPALIVE** : Ce message est utilisé pour permettre aux pairs de détecter qu'ils sont toujours bien connectés, et sont échangés à une valeur plus petite que le timer « Hold »;

Vocabulaire

Type d'AS Selon le type de connexions qu'un AS possède avec ses voisins dans BGP, il sera appelé de différente manières :

- **Transit AS** : Il s'agit d'un AS qui sert de « relai » vers d'autres AS et facture ce service : en se connectant à un AS de transit, ce qui coûte de l'argent (avec une part variable dépendant du trafic envoyé/reçu, et une part fixe), on peut avoir accès à l'ensemble des réseaux que cet AS sait joindre;
- **Stub AS** : Il s'agit d'un AS qui n'est connecté qu'à un autre AS, par exemple un AS de transit, et va s'appuyer sur lui pour joindre le reste d'Internet;
- **Multi-homed AS** : Il s'agit d'un AS qui est connecté à au moins deux AS différents – c'est le cas de Télécom Sudparis – ce qui permet une redondance et une résilience;

Peering On appelle « peering » le fait pour deux AS de s'interconnecter sans contrepartie financière. Deux AS de tailles semblables en nombre de clients et qui peuvent peeer entre eux ont dans leur intérêt de le faire, et s'éviter ainsi d'avoir à payer du *transit* chez un AS de transit.

IXP On appelle IXP, pour *Internet eXchange Point*, un lieu où plusieurs opérateurs se regroupe pour peeer entre eux. En pratique, il s'agit d'une salle / d'un petit bâtiment où un ensemble de switches et de baies sont mises à disposition pour héberger des routeurs de différents AS qui peuvent alors se connecter directement entre eux dans des accords de peering. L'avantage d'avoir un IXP est la possibilité de peeer avec des dizaines / centaines d'AS depuis un même endroit.

ORGANISATION HIÉRARCHIQUE DE L'INTERNET

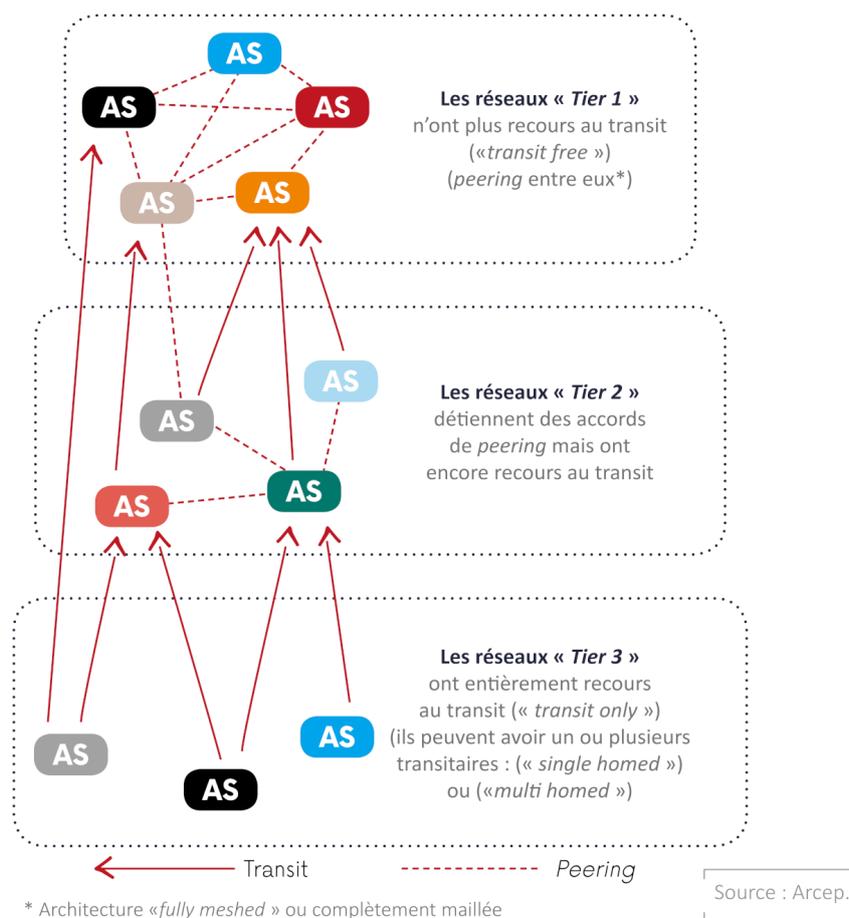


FIGURE 6 – Organisation hiérarchique de l'Internet – Source ARCEP

Tier 1, 2 et 3 Un réseau (ou plutôt, un AS) Tier 1 est un AS qui peut communiquer avec l'ensemble des autres AS sur Internet, sans avoir à payer. En pratique, des AS Tier 1 sont des AS possédant une présence mondiale avec des réseaux longue distance et qui possèdent des accords de peering avec l'ensemble des autres AS Tier 1. Il s'agit des plus gros opérateurs de réseaux sur Internet : Lumen (États-Unis), Arelion (Suède), NTT (Japon), Tata (Inde) ou encore Orange (France) sont des AS Tier 1. Un AS Tier 2 doit acheter du transit pour pouvoir se connecter à Internet, mais possède des accords de peering avec d'autres opérateurs Tier 2, souvent des acteurs régionaux de taille similaires (à l'échelle d'un pays). On pourra nommer Free, SFR, et un AS Tier 3 ne s'appuie que sur du transit pour rejoindre Internet.

Références

1. [BGP Operations And Security Training Course – RIPE NCC](#)
2. [Courg BGP au CNAM – Stéphane Bortzmeyer \(slides\) et vidéo](#)
3. [Baromètre de l'interconnexion de données en France – ARCEP](#)
4. [Tools to explore BGP – Julia Evans](#)
5. [Image des serviettes en papier utilisées pour l'invention de BGP, aussi connu sous le nom de « three-napkins protocol »](#)

Pendant tout ce TP, vous allez jouer le rôle d'une nouvelle entreprise qui souhaite devenir un hébergeur de sites web, en utilisant ses propres adresses IPs et en gérant elle-même son routage.

Important : Dans l'ensemble du TP, les opérations se feront depuis la VM « **Ubuntu-22-04-Generic** ». Les segments réseaux « DISI » et « TP » ont été modifiés, et **vous n'aurez donc pas accès à Internet** pendant ce TP. On rappellera que le mot de passe de l'utilisateur « `utilisateur` » de la VM est « `motdepasse` » et qu'il est sudoers. **Merci de ne pas brancher les câbles réseaux** avant qu'on vous le demande dans ce sujet.

Préambule

~30 minutes

Étape n° 1 : Récupérer des adresses IPs et un numéro d'AS

~5 minutes

Question 1 : À quel organisme (on suppose que l'on est en Europe) devez vous demander l'attribution d'un numéro d'AS et d'adresses IPs? Contactez cet organisme (il se trouve dans la salle) en lui précisant le numéro de votre poste.

Étape n° 2 : Héberger un site web sur votre VM

~10 minutes

Vous êtes une entreprise qui souhaite devenir un hébergeur de site web. La première étape est donc d'héberger votre propre site web!

Question 2 : Quel type de logiciel doit être utilisé pour héberger un site web?

Une manière simple, sous Linux, de lancer un tel logiciel lorsque *Python 3* est disponible est la manière suivante (dans un shell) :

```
$ python3 -m http.server
Serving HTTP on 0.0.0.0 port 8000 (http://0.0.0.0:8000/) ...
```

Par défaut, ce `python3 -m http.server` écoute sur toutes les adresses IPs (« `0.0.0.0` ») et fonctionne sur le port « `8000` » car il faut être un utilisateur privilégié pour utiliser des ports inférieurs à 1024. Il sert le contenu du répertoire courant (c'est-à-dire le répertoire d'où on lance la commande) à la racine du site web.

Question 3 : Créez un répertoire « `www` » dans votre home et déplacez vous y, puis créez un fichier « `index.html` » indiquant votre numéro d'AS, votre range IP attribué, et votre numéro de poste dans ce répertoire, et lancez un serveur web sur le port « `80` » écoutant sur toutes les adresses IPs dans ce répertoire. Vous pouvez vérifier que tout fonctionne en visitant l'url « `http://127.0.0.1/` » dans le navigateur web de la VM.

Indice : utilisez « `python3 -m http.server --help` » et « `sudo` ». Il n'est pas non plus obligatoire d'écrire du HTML dans le fichier « `index.html` » : du texte brut fonctionne très bien.

Étape n° 3 : Configurer son réseau « interne » (IGP)

~15 minutes

Vous avez normalement reçu une plage d'adresse IP et un numéro d'AS : il est temps d'utiliser ces adresses ! Théoriquement, dans la vraie vie, vous feriez ça avec un IGP comme OSPF ou IS-IS, cependant, comme il s'agit d'un TP et que le focus sur les IGPs a déjà été fait aux séances précédentes, nous allons nous contenter d'un routage statique.

Question 4 : Attribuez la première (plus petite) adresse IP de votre plage d'adresses IP à votre VM, en configurant manuellement (en terminal ou de manière graphique via NetworkManager) cette adresse sur l'interface « `enp0s3` ». On considérera que l'ensemble des adresses IPs qui vous ont été attribué sont directement accessible (*on-link*) sur cette interface.

Question 5 : Attribuez la dernière (plus grande) adresse IP de votre plage d'adresses IP à votre routeur cette adresse sur l'interface Ethernet « 0/0/0 ». On considèrera que l'ensemble des adresses IPs qui vous ont été attribué sont directement accessible (*on-link*) sur cette interface.

Question 6 : Branchez un câble Ethernet pour permettre à votre VM de communiquer avec le routeur sur son interface Ethernet « 0/0/0 » du routeur : vous devriez maintenant pouvoir ping votre VM depuis votre routeur, et vice-versa. Ajoutez sur votre VM une route par défaut utilisant votre routeur comme gateway.

Vérifiez qu'il est bien possible de voir votre page web à l'adresse que vous avez attribué à votre VM en visitant l'URL « `http://XXX.XXX.XXX.1/` ».

Une première session BGP

~45 minutes

Dans cette section, vous allez mettre en place une session BGP avec vos voisins, et effectuer une capture réseau pour observer le contenu de la session au niveau du réseau. Pour permettre cette capture, qui est rendue difficile car elle va s'effectuer entre votre routeur et celui du voisin, vous allez utiliser un hub, comme sur la figure 7.

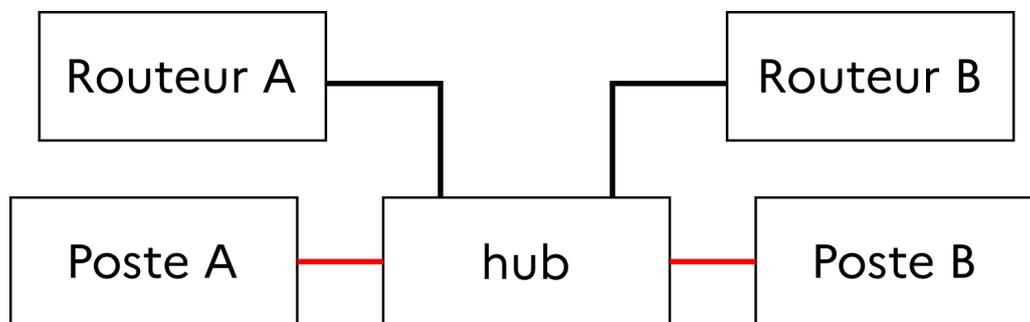


FIGURE 7 – Capture du trafic entre deux routeurs avec un hub.

Question 7 : Mettre en place l'architecture décrite ci-dessus et lancer une capture wireshark directement depuis l'hôte (exceptionnellement). Pour brancher les postes au hub, on utilisera la prise « `enp0s25` » / « hôte ».

Question 8 : Établissez un lien réseau sur l'interface Gigabit Ethernet « 0/0/1 » avec votre voisin (en passant par le hub), et configurez vos adresses respectives sur le réseau de « peering ». Ces adresses sont décrite ci-dessous. Faites bien attention à vous mettre d'accord sur qui utilise quelle IP dans le réseau mentionné dans la table 1.

Pour les adresses du réseau entre vous et votre voisin, merci de vous reporter à la table 1 : nous allons utiliser des réseaux point à point, avec un masque de sous réseau de '/31' pour gagner des adresses : pas besoin d'adresse du réseau et pas besoin d'adresse de broadcast lorsque l'on sait qui est de l'autre côté du câble...

Poste peerant ensemble	Réseau à utiliser en B101	Réseau à utiliser en B109
Poste 1 et 2	172.16.1.0/31	172.16.1.20/31
Poste 3 et 4	172.16.1.2/31	172.16.1.22/31
Poste 5 et 6	172.16.1.4/31	172.16.1.24/31
Poste 7 et 8	172.16.1.6/31	172.16.1.26/31
Poste 9 et 10	172.16.1.8/31	172.16.1.28/31
Poste 11 et 12	172.16.1.10/31	172.16.1.30/31

TABLE 1 – Réseaux point-à-point à utiliser pour peerer avec votre voisin

Étape n° 4 : Établir une première session BGP

~20 minutes

Important : À cette étape, vous devriez pouvoir être capable de ping votre voisin sur son IP. Si ce n'est pas le cas, il est inutile de passer à la suite...

Il est maintenant l'heure d'établir votre première session. Pour ce faire, il suffit de suivre les instructions ci-dessous (les explications suivent) :

Configuration de peering BGP sous Cisco

```
Router(config)# router bgp <MON-ASN>
Router(config-router)# router-id <MON-IP>
Router(config-router)# network <MON-RÉSEAU-INTERNE> mask <MON-MASQUE-RÉSEAU-INTERNE>
Router(config-router)# neighbor <IP-DU-PAIR> remote-as <ASN-DU-PAIR>
Router(config-router)# neighbor <IP-DU-PAIR> soft-reconfiguration inbound
Router(config-router)# end
Router(config)#
```

1. La première ligne permet d'entrer dans la configuration de votre processus de routage (identifié par votre ASN).
2. Le 'router-id' permet d'identifier votre routeur dans la session BGP : il doit être unique à travers toutes vos sessions. Comme le champ fait 32 bits, il est d'usage d'utiliser une adresse IP, par exemple, celle de son routeur, pour éviter les collisions.
3. La ligne 'network' vous permet de dire que vous souhaitez annoncer votre réseau en BGP.
4. La première ligne 'neighbor' permet d'établir une session avec un pair BGP, en précisant son IP et son ASN
5. La seconde ligne 'neighbor' permet d'enregistrer plus d'informations que techniquement nécessaire, ce qui permet de faciliter le debug.

Pour vérifier que tout fonctionne, plusieurs commandes permettent de consulter l'état de BGP sur votre routeur :

Consultation de l'état de BGP sous Cisco

```
Router(config)# show ip bgp summary      <- Affiche un résumé des sessions BGP
Router(config)# show ip bgp             <- Affiche la base de données de chemins de BGP
Router(config)# show ip route           <- Affiche la table de routage de notre routeur
```

Les commandes suivantes permettent aussi d'afficher (lorsque que l'on a bien configuré nos connexions avec 'soft-reconfiguration inbound') les routes annoncées et les routes reçues pour un pair spécifique :

Consultation des routes annoncées et reçues pour un pair donné

```
Router(config)# show ip bgp neighbor <IP-DU-PAIR> advertised-routes
Router(config)# show ip bgp neighbor <IP-DU-PAIR> received-routes
```

Question 9 : Vérifiez que vous arrivez à ping votre voisin. Vérifiez en utilisant les commandes permettant de consulter l'état de BGP que vous récupérez bien ses routes. Arrivez-vous à visiter sa page web ?

Question 10 : Arrêtez la capture Wireshark et observez de trafic échangé. Arrivez-vous à retracer le déroulement de la session BGP ? Le trafic HTTP ? Les pings ? Quel est la durée entre deux paquets Keepalive ?

Important : Une fois la capture effectuée avec votre voisin (et une fois que lui aussi a effectué sa capture), supprimez la configuration réseau de votre interface Gigabit Ethernet 0/0/1, débranchez vos câbles du hub (il ne sera plus utilisé dans la suite du TP), et supprimez le peering avec votre voisin. Cette première étape est découplée de la suite du TP.

Connecter son AS à Internet

~30 minutes

En tant que petite entreprise, dans un premier temps, vous allez établir une session BGP avec un unique organisme qui va vous fournir une connectivité vers Internet en vous permettant d'établir une session BGP avec lui. Les sites web de vos (futurs) clients pourront ainsi être consultés depuis Internet.

Étape n° 4 : Obtenir les informations pour établir une session BGP

~5 minutes

Question 11 : Contactez un organisme (il se trouve dans la salle) qui peut vous fournir un accès à Internet en échange d'un paiement. Demandez lui les informations nécessaires à établir une session BGP avec lui. À quel « tier » votre AS va-t-il appartenir ?

Question 12 : Ajouter cet organisme comme voisin BGP, et annoncez lui votre réseau. Vérifiez que vous arrivez bien à peerer avec lui en utilisant les commandes déjà mentionnées permettant de consulter l'état de votre processus BGP sur votre routeur.

Question 13 : Vérifiez que vous arrivez à contacter le serveur web situé à l'adresse `http://172.16.42.1/`. Mis à part par le contenu de la page web, comment auriez vous pu trouver par quel AS cet adresse IP était annoncée ? Quel chemin est emprunté par les paquets ?

Peerer pour payer moins cher

~15 minutes

Une solution pour payer moins cher son accès à Internet est d'effectuer une relation de peering (donc gratuite) directement avec un autre AS, s'évitant ainsi de devoir payer du trafic à un transitaire lorsque vous souhaitez envoyer des données avec cet autre AS. Vous allez donc peerer avec votre voisin (le même qu'auparavant).

Pour peerer, vous allez utiliser une connexion série car vos routeurs ne possèdent pas suffisamment de connexions Ethernet sous format RJ-45. La configuration des interfaces séries nécessite de préciser une vitesse d'horloge, de la manière suivante :

```
Router(config)# interface serial 0/1/0
Router(config-if)# no shutdown
Router(config-if)# clock rate 8000000
Router(config-if)# ...      <- configurez votre adresse/masque de manière habituelle
Router(config-if)# end
Router(config)#
```

Peerer avec beaucoup de monde en même temps

~15 minutes

Pour peerer avec beaucoup de monde, on passe souvent par un ___ (en anglais, un « _____ »).

Si deux personnes souhaitent peerer entre elles, elles doivent chacune rajouter une configuration dans leurs routeurs : il faut deux opération (une par routeur). Si trois personnes souhaitent peerer entre elles, en maillage complet, il faut alors ajouter sur chacun des routeurs deux configurations (pour chacun des deux autres pairs), soit un total de $2*3=6$ opérations à effectuer.

Question 14 : Combien d'opérations seraient nécessaire pour faire peerer l'ensemble des 24 routeurs utilisés dans le TP au niveau de la b101 et de la b109 ? Est-ce tenable ?

Question 15 : Allez demander à l'___ comment vous connectez par son biais à ses autres membres de cet IXP, et configurez votre routeur en conséquence. Est-ce que l'AS de l'___ est visible dans vos messages de diagnostic BGP ? En particulier, si vous lancez un traceroute vers une adresse distante, par exemple 172.16.42.1, qu'observez vous ? À quoi a pu servir l'option spécifique que l'on vous a demandé de rajouter à votre configuration ?

Question 16 : Arrivez vous à visiter des sites webs hébergés dans l'autre salle ?

Important : Cette étape doit se faire de manière synchronisée avec votre voisin !

À cette étape, vous avez normalement trois sessions BGP avec trois entités :

1. Votre voisin, sur le port « Serial 0/1/0 »;
2. Un AS de transit, sur le port « GigabitEthernet 0/0/1 »;
3. Un IXP, sur le port « GigabitEthernet 0/2/0 »;

Question 17 : De manière synchronisée avec votre voisin, observez ce qui se passe lorsque vous débranchez les câbles ethernet de l'un des deux routeurs. En particulier, est-ce que le voisin « déconnecté » (mais pas en série) possède toujours un accès au site web de son voisin, au site web `http://192.168.94.1/?` Que s'est-il passé? Du point de vue du transitaire, qui va devoir payer pour ce trafic acheminé?

Par défaut, BGP annonce les réseaux que l'on a ajouté dans notre section « router bgp <ASN> » via le mot clef « network ». Cependant, il va aussi redistribuer les meilleurs chemins vers l'ensemble du réseau, ce qui a pour effet de bord qu'un AS multi-homed peut se transformer en transitaire, en relayant du trafic! Pour éviter de se transformer malgré soi en transitaire pour ses voisins, plusieurs méthodes existent. Nous allons nous concentrer sur l'une de ces méthodes : l'utilisation de prefix-list.

Un *prefix list* est un objet qui permet de créer des règles de filtrage. On lui assigne une étiquette (un mot, une expression séparée de tirets...), une action, « permit » ou « deny » pour autoriser ou refuser, et un range d'IP du type « A.B.C.D/XY », par exemple : « ip prefix-list ALLOW-MY-IPS permit 10.42.42.0/24 » (en mode config).

Il est ensuite possible d'utiliser cet objet *prefix list* dans la configuration de son routeur bgp pour spécifier, pour chaque voisin, si on souhaite appliquer cette règle de filtrage sur le trafic sortant (out) ou sur le trafic entrant (in) :

Exemple d'utilisation de prefix-list

```
Router(config)#ip prefix-list PREVENT-TRANSIT permit 10.42.42.0/24
Router(config)#ip prefix-list ALLOW-NET permit 192.168.0.0/16
Router(config-router)#neighbor A.B.C.D prefix-list PREVENT-TRANSIT out
Router(config-router)#neighbor E.F.G.H prefix-list ALLOW-NET in
```

Dans l'exemple ci-dessus, on définit deux *prefix list* nommées *PREVENT-TRANSIT* et *ALLOW-NET*, qui sont appliquées respectivement aux voisins A.B.C.D et E.F.G.H. Chaque prefix list ne laissera passer le trafic que pour respectivement les réseaux 10.42.42.0/24 et 192.168.0.0/16, mais leurs directions sont opposées (*out* vs. *in*). Ainsi, notre routeur n'annoncera que la route 10.42.42.0/24 à son voisin A.B.C.D (direction sortante, *out*), et n'acceptera que la route vers le réseau 192.168.0.0/16 de son voisin E.F.G.H (direction entrante, *in*).

Question 18 : Mettez en place des prefix-list sur vos routeurs pour choisir quelles routes redistribuer à votre voisin connecté via connexion série, et éviter ainsi de se transformer en transitaire. Vérifiez expérimentalement que la prefix-route fonctionne bien.

Question 19 : Essayez de recréer un schéma du réseau sur les deux salles. Si vous pensez avoir quelque chose proche de la réalité, allez voir vos encadrants de TP pour vérifier si vous étiez proche du but ou non.