

Chapitre 1: Le routage dynamique

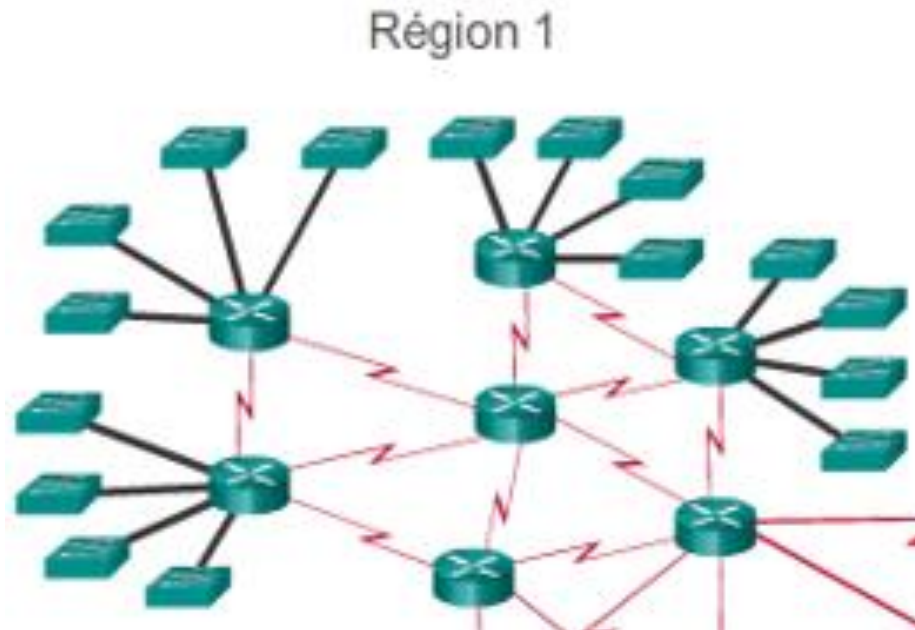
- **Les protocoles de routage dynamique :**
 - **Le protocole RIP**
 - **Le protocole OSPF**
 - **Le protocole BGP**
- **Le protocole MPLS**
- **Le routage multicast**

Introduction

- Le but du routage est de définir une route ou un chemin à un paquet quand celui-ci arrive sur un routeur.
- Le but du routage est donc d'assurer qu'il existe toujours un chemin pour aller d'un réseau à un autre.

Introduction

- Le routage statique est inadapté si :
 - La topologie du réseau change souvent (ajout , suppression ,...)
 - Plusieurs routeurs à configurer et la reconfiguration doit être automatique en cas de panne réorienter le trafic sur une liaison d'un réseau .
- En plus , le chemin emprunté par un paquet IP dans le routage statique **n'est pas forcément le plus court chemin .**

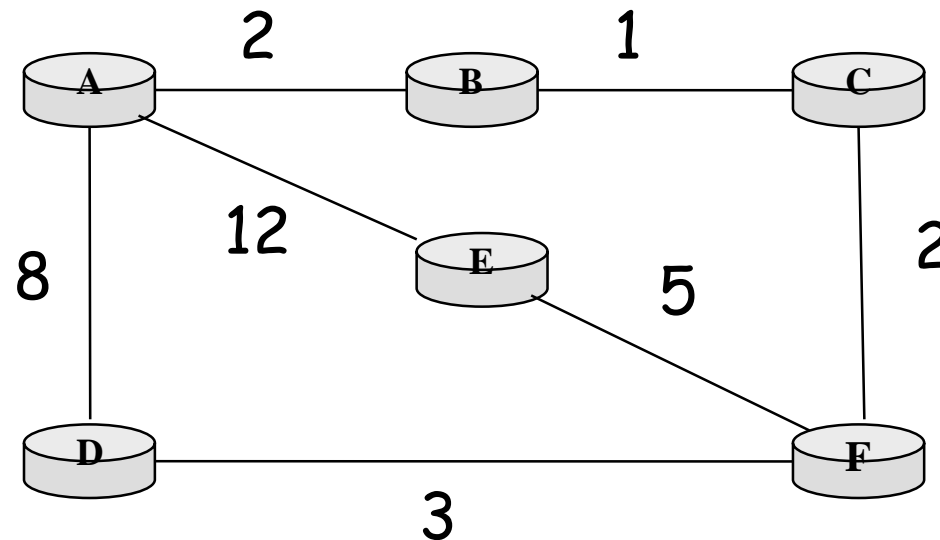


Le Routage dynamique

- **Le principe du routage ne change pas →** c'est la façon de mettre à jour (construire) la table de routage qui change, puisqu'elle n'est plus **manuelle mais automatique et dynamique.**
- Les routeurs communiquent entre eux pour échanger des informations à travers un protocole de communication.
- Le routeur **assimile (apprend)** dynamiquement de nouvelles informations de routage (grâce à des protocoles spécifiques) vers d'autres réseaux.
- Lorsqu'un protocole de routage met à jour une table de routage, **son principal objectif est de déterminer la meilleure information à inclure dans la table afin de trouver le meilleur chemin → utiliser une métrique**

La métrique

- A chaque lien du réseau (une route) est associé une valeur appelée **METRIQUE** (un coût)
- La métrique est utilisée par les protocoles de routage dynamique pour choisir **le meilleur chemin** .
- métrique **petite** → meilleur chemin.
- La métrique d'un lien peut être soit en fonction d'une seule caractéristique ou en fonction de plusieurs caractéristiques.



Quelques métriques utilisées

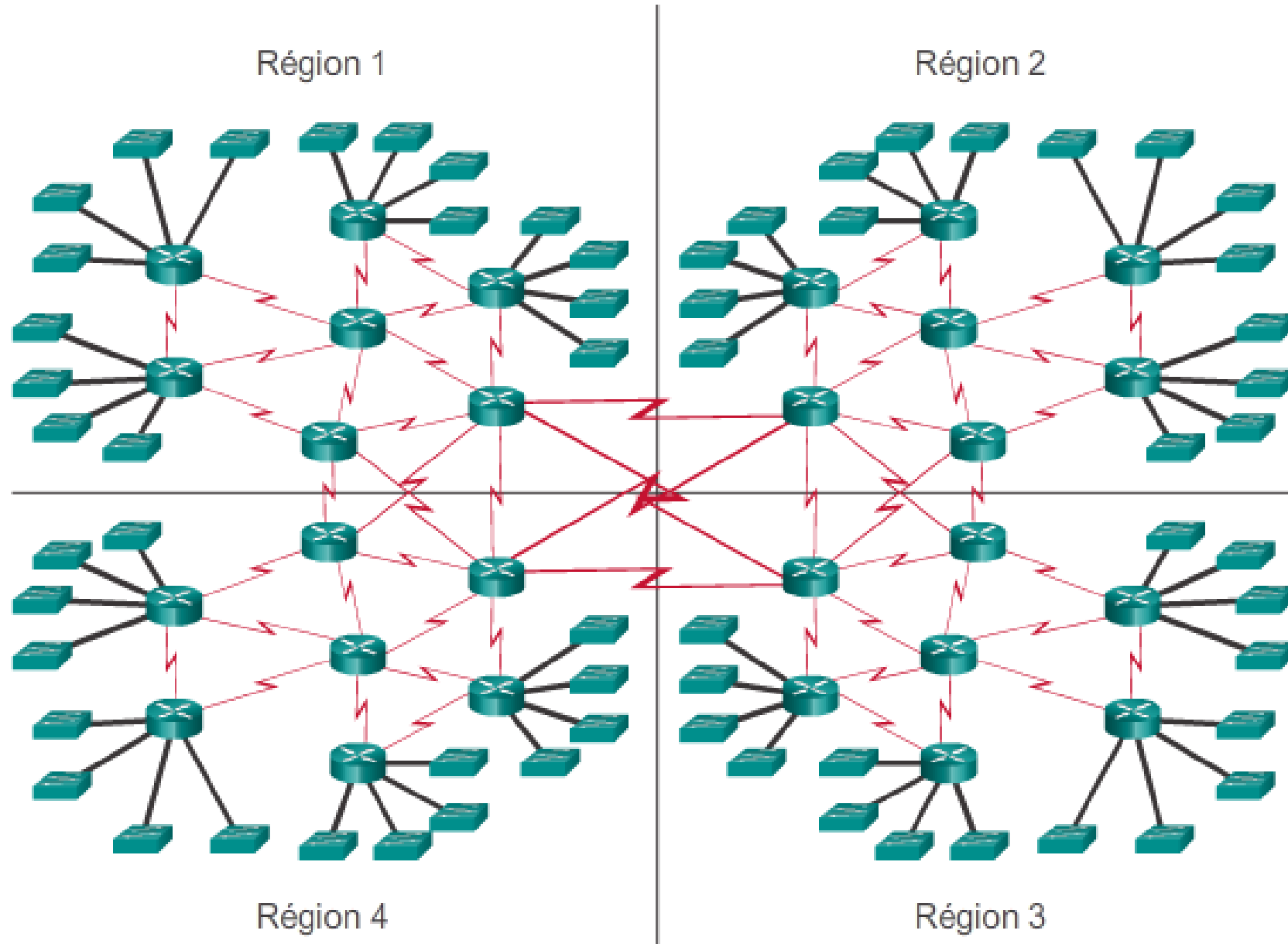
- **La Bande passante (Débit)** : par exemple, le débit d'une liaison Ethernet est de 10 ou 100 Mbits/s.
- **Le Délai** : temps requis pour acheminer un paquet sur le lien .
- **La Charge** : la quantité d'activité sur une ressource réseau telle qu'un routeur ou une liaison.
- **La Fiabilité** : Taux d'erreurs de chaque liaison du réseau.
- **Le Nombre de sauts** : nombre de routeurs par lesquels un paquet doit passer avant d'arriver à destination.
- **Le Coût** : valeur arbitraire, habituellement basée sur la bande passante, la dépense d'argent ou d'autres mesures, attribuée par un administrateur de réseau.
- **Toute combinaison** de ces valeurs : une fonction d'une ou plusieurs métriques

Destination	Métrique	Prochain saut
144.19.0.0	0	Direct
130.21.0.0	3	131.21.1.5

Temps de convergence

- À chaque fois que la topologie du réseau change (panne, ajout , modification, suppression d'un élément du réseau) les informations détenues par des routeurs **doivent aussi changer**.
- Après un changement de la topologie, les routeurs doivent **recalculer les routes, ce qui perturbe le routage**.
- Ces informations doivent refléter une vision globale cohérente de la nouvelle topologie → Cette vision se nomme **convergence**.
- Il y a convergence lorsque **tous les routeurs** ont une vue uniforme de la topologie réseau → les routeurs sont synchronisés = tables de routage synchronisées.
- Le processus et le temps de convergence des routeurs **varient selon les protocoles de routage** → plus le temps de convergence est petit → plus l'algorithme de routage est performant

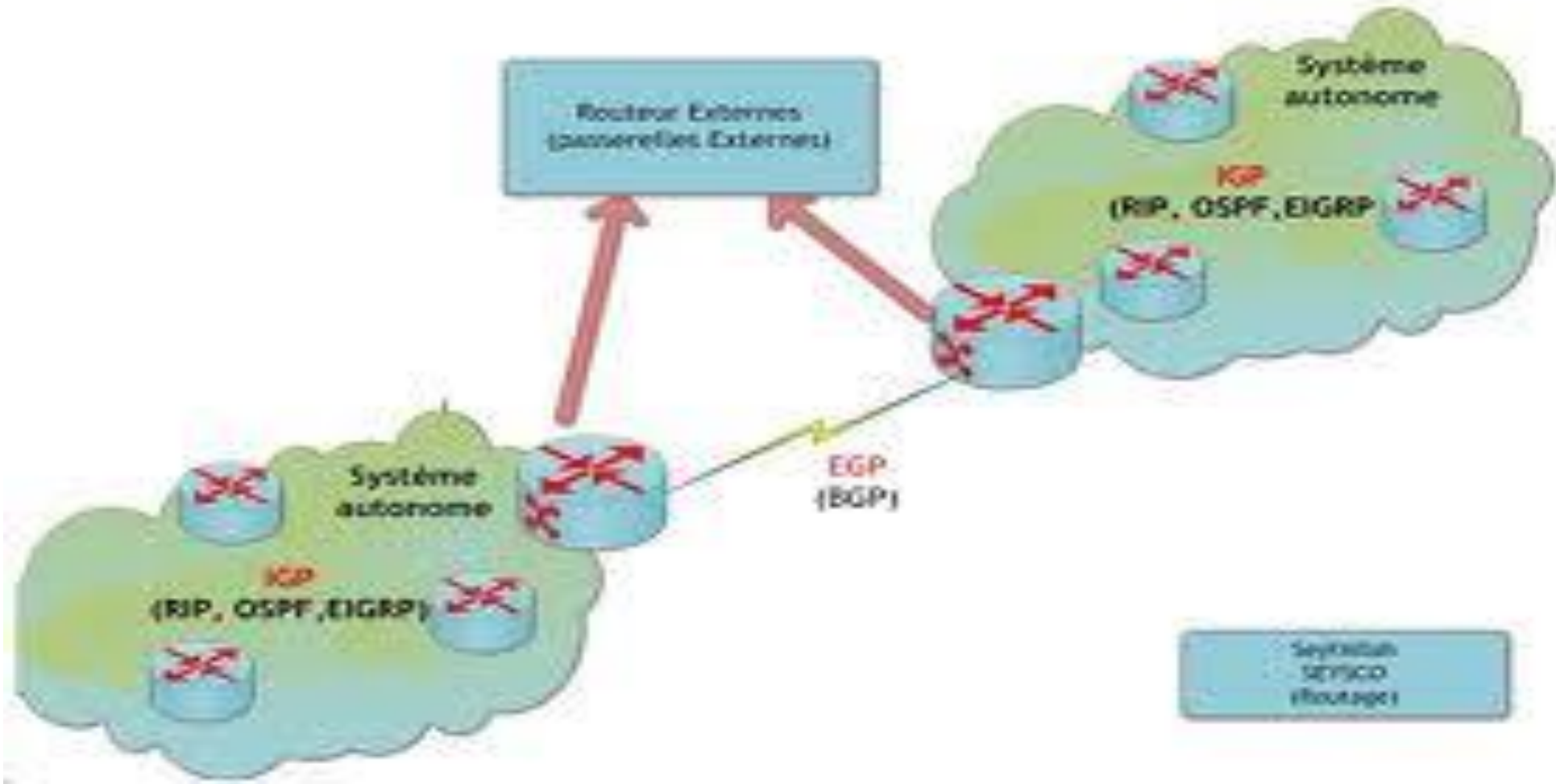
Temps de convergence



Classification des protocoles de routage dynamique

- Les protocoles de routage dynamique peuvent être :
 - **À vecteur de distance** : ces protocoles se basent sur le nombre de sauts (distance) ou la longueur du chemin qui sera emprunté par le paquet pour trouver le meilleur chemin .
 - **À état de liens** : ces protocoles se basent sur l'état des liens (actifs ou non) pour créer la topologie exacte (**avoir une vision globale du réseau**) de tout le réseau pour calculer le plus court chemin selon le coût .
 - **Hybride** : Cette méthode combine les aspects des algorithmes d'état de liens et de vecteur de distance.

Découpage du domaine de routage global (Internet) en domaines de routage autonomes (Systèmes Autonomes ou AS)



Protocoles de routage

- Pour l'interconnexion des réseaux d'opérateurs différents, il est nécessaire de définir des protocoles de routage commun.
- La notion de **routage interne** et **routage externe** permet de répondre à ces objectifs.
- Les protocoles de routage se divisent en deux familles:
- **IGP: assurent le routage interne à un AS**
- **EGP: assurent le routage entre les AS.**

Protocoles de routage Interne

Protocole	Description
RIP	Routing Information Protocol (version 1 & 2) :Le plus ancien, le plus simple mais encore très utilisé !
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol : Protocole propriétaire Cisco, mais comme Cisco est très implanté dans le monde du réseau, on le trouve très souvent.
E-IGRP	Extended-IGRP : Apparut avec la version logicielle 11 de Cisco, il supprime peu à peu l'IGRP. Il offre des fonctions plus élaborées.
OSPF	Open Shortest Path First : très complet, très performant, très élaboré, mais très compliqué et consommateur de ressources dans les routeurs. On le réserve généralement à de grands réseaux.
IS-IS	Interior System to Interior System : le seul IGP normalisé OSI. il est assez peu utilisé.

Protocoles de routage Externe

Protocole	Description
EGP	Exterior Gateway Protocol : le premier, le plus ancien, pas très performant. Il est de plus en plus abandonné.
BGP	Border Gateway Protocol : dans sa version 4, il dépasse largement tout autre EGP. BGP4 est implémenté sur Internet entre-autre. Il offre des fonctions de routage très élaborées.
ES-IS	Exterior System to Interior System : comme IS-IS, le seul EGP normalisé OSI, mais très peu utilisé.

Routage à vecteur de distance

Le protocole

**RIP : Routing Information
Protocol.**

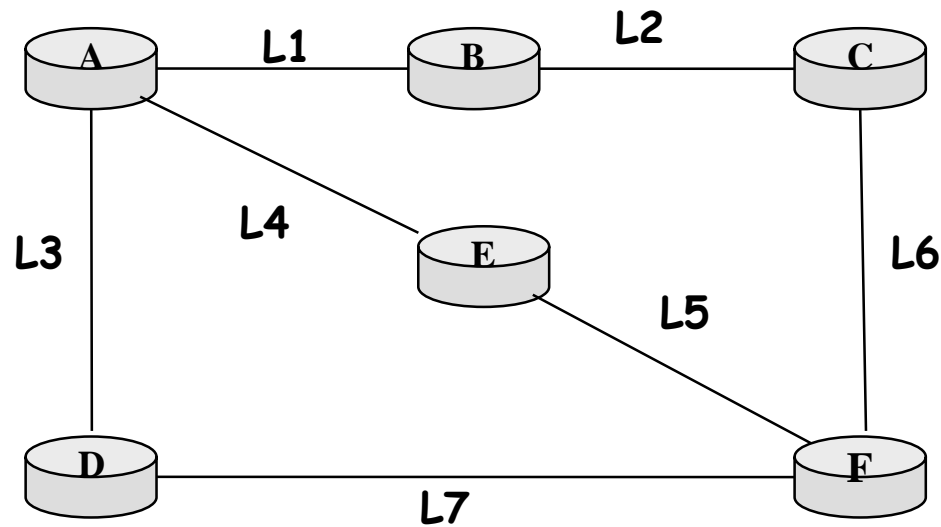
Métrique utilisée par RIP

- La distance est la mesure du **coût** associé à la route → **RIP utilise le nombre de saut comme métrique** .
- Le franchissement d'un routeur compte pour **un pas (un saut)**.
- Au-delà de 15 sauts la route est invalide.
- RIP affecte la valeur 0 pour un réseau connecté, la valeur 1 pour un réseau atteint pas le biais d'un routeur et ainsi de suite.

Métrique utilisée par RIP

Exemple :

- La distance de A à B : est égale à 0 si on utilise le lien L1
- La distance de A à F : est égale à 2 si on utilise les liens L1 ,L2 et L6 → passer par les routeur B et C
- La distance de A à F: est égale à 1 si on utilise les liens L4 et L5 → passer par les routeur E



Principe de RIP

- Les routeurs n'ont qu'une vision locale du réseau : les voisins immédiats (les routeurs directement connectés).
- Chaque routeur commence par émettre périodiquement (par défaut 30 secondes) des updates RIP sur toutes ses interfaces en broadcast IP à ses voisins immédiats (directement connectés).
- Chaque entrée du vecteur est composée de : la destination, de la distance.
- Seules les machines qui ont un process RIP actif vont prendre en charge l'update, les autres l'ignorent. C'est pourquoi il faut bien enclencher le process RIP sur tous les routeurs !

Principe RIP : Ajout d'une route

Algorithme de 'bellman-ford

- Après la phase d'initialisation, le routeur va diffuser régulièrement sur chacune de ses interfaces son vecteur .
- Le routeur à son tour reçoit des informations d'autres routeurs voisins.
- Si une destination n'existe pas dans sa table de routage est reçue par le routeur alors **il l'insert dans sa table de routage avec la distance reçue +1 et comme prochain saut le routeur qui a envoyé l'information.**
- Si une destination existant dans la table de routage est reçue par le routeur alors **il compare le coût (distance) et garde l'entrée la plus petite.**

Algorithme RIP : Ajout d'une Route (1)

- Le routeur qui traite l'update examine chaque entrée.
- **Si l'entrée n'existe pas dans sa table de routage**, il incrémente de 1 le coût (*puisque'il faut passer par un autre routeur pour atteindre la destination*) puis il inscrit dans sa table :
 - **l'adresse de destination** indiquée dans l'entrée de l'update
 - **le coût associé** qu'il vient d'incrémenter
 - **l'adresse IP de l'émetteur** de l'update (*next-hop*)
 - **le délai écoulé depuis la réception de cet update** (il enclenche un timer appelé le **hold-time timer**).
 - **le nom du protocole de routage** par lequel il a appris cette route,
 - **l'interface de sortie du routeur** par laquelle on peut atteindre le **next-hop** (adresse de l'émetteur de l'update)
 - **priorité du protocole de routage.**

Algorithme RIP : Ajout d'une Route (2)

Si l'entrée existe déjà, le routeur compare le coût annoncé et l'adresse de l'émetteur de l'update

Si l'adresse de saut (next-hop) est différente de l'adresse de l'émetteur, **le routeur compare les coûts** (*après avoir incrémenté de 1 le coût indiqué dans l'update*) :

- **Si le coût de l'update est inférieur il remplace l'entrée** dans la table de routage par celle de l'update.
- **Sinon** (coût supérieur ou identique) **il ignore l'update**

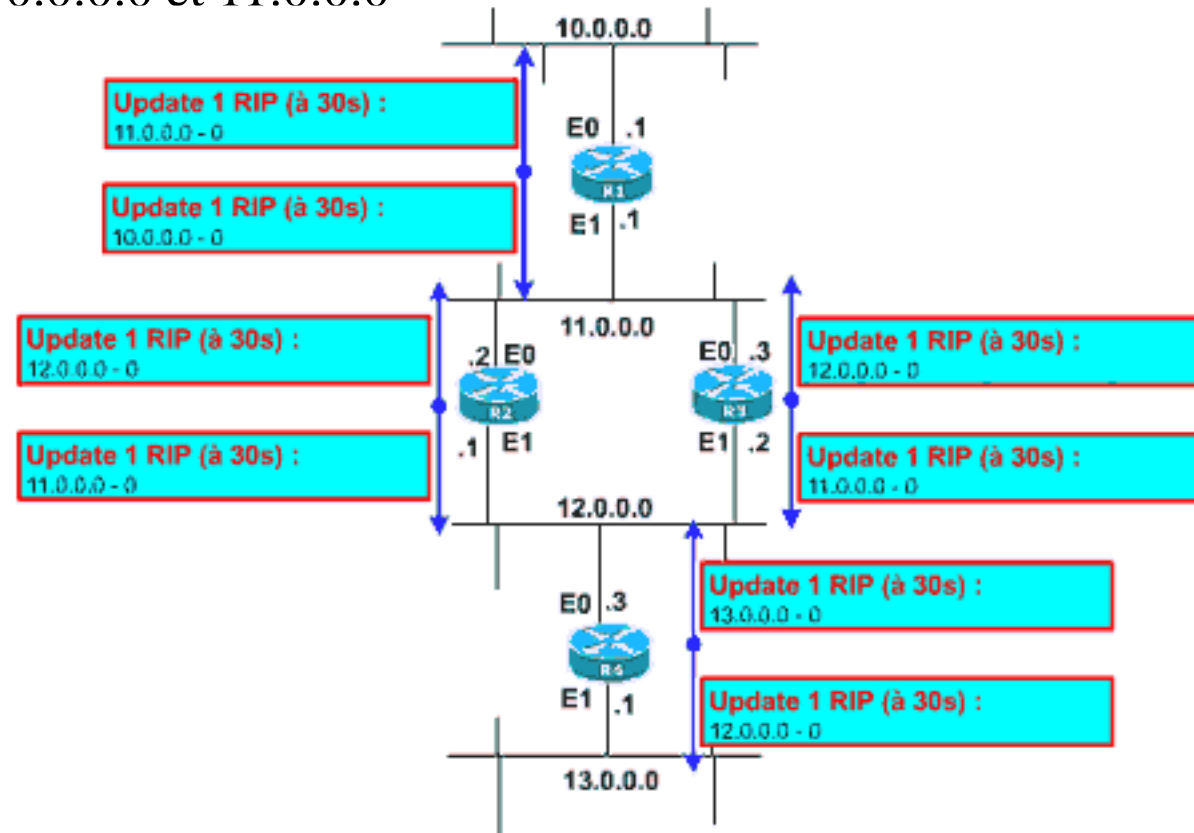
Phase 1 : Topologie

Les routeurs connaissent les réseaux qui leurs sont directement raccordés

R2 et R3 ignorent la présence des réseaux 10.0.0.0 et 13.0.0.0,

R1 ignore l'existence des réseaux 12.0.0.0 et 13.0.0.0,

R4 ignore les réseaux 10.0.0.0 et 11.0.0.0



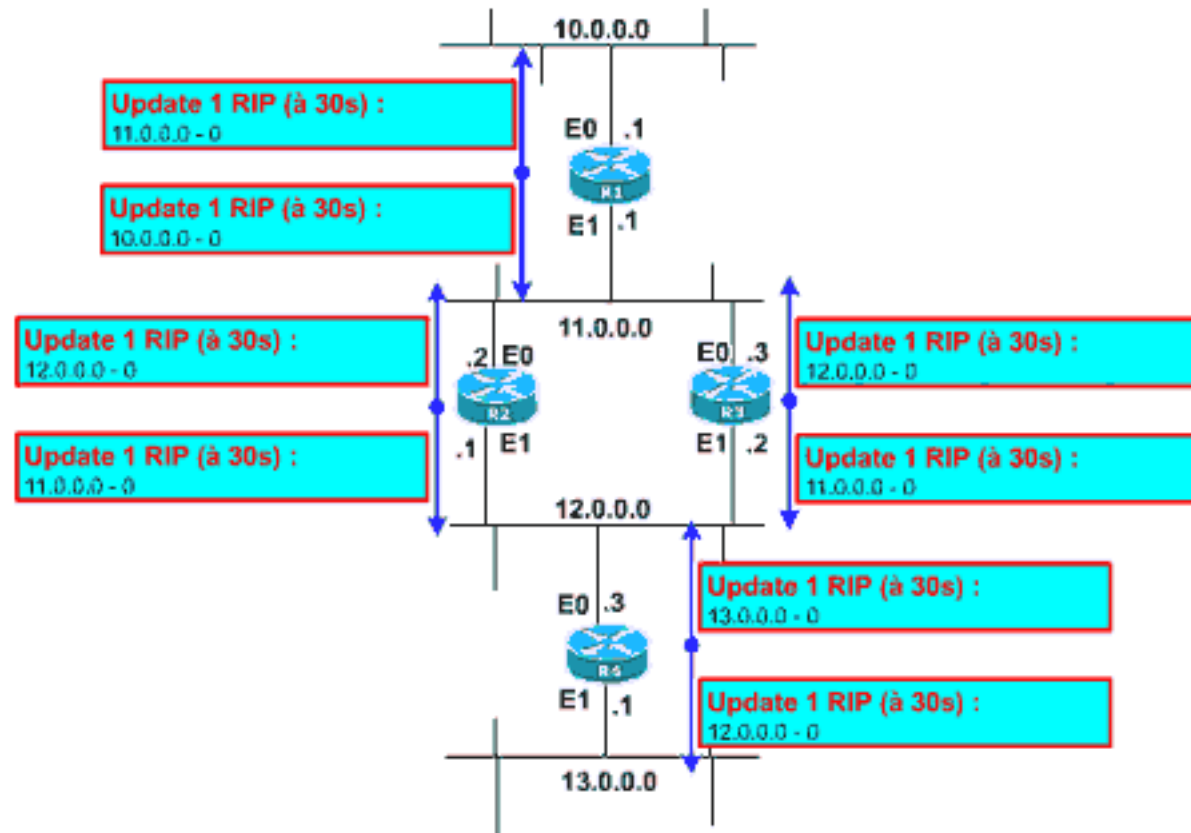
Phase 2 : Première émission d'update RIP

Phase 2 : Activation de RIP

le coût pour RIP correspond à un nombre de routeurs à traverser.

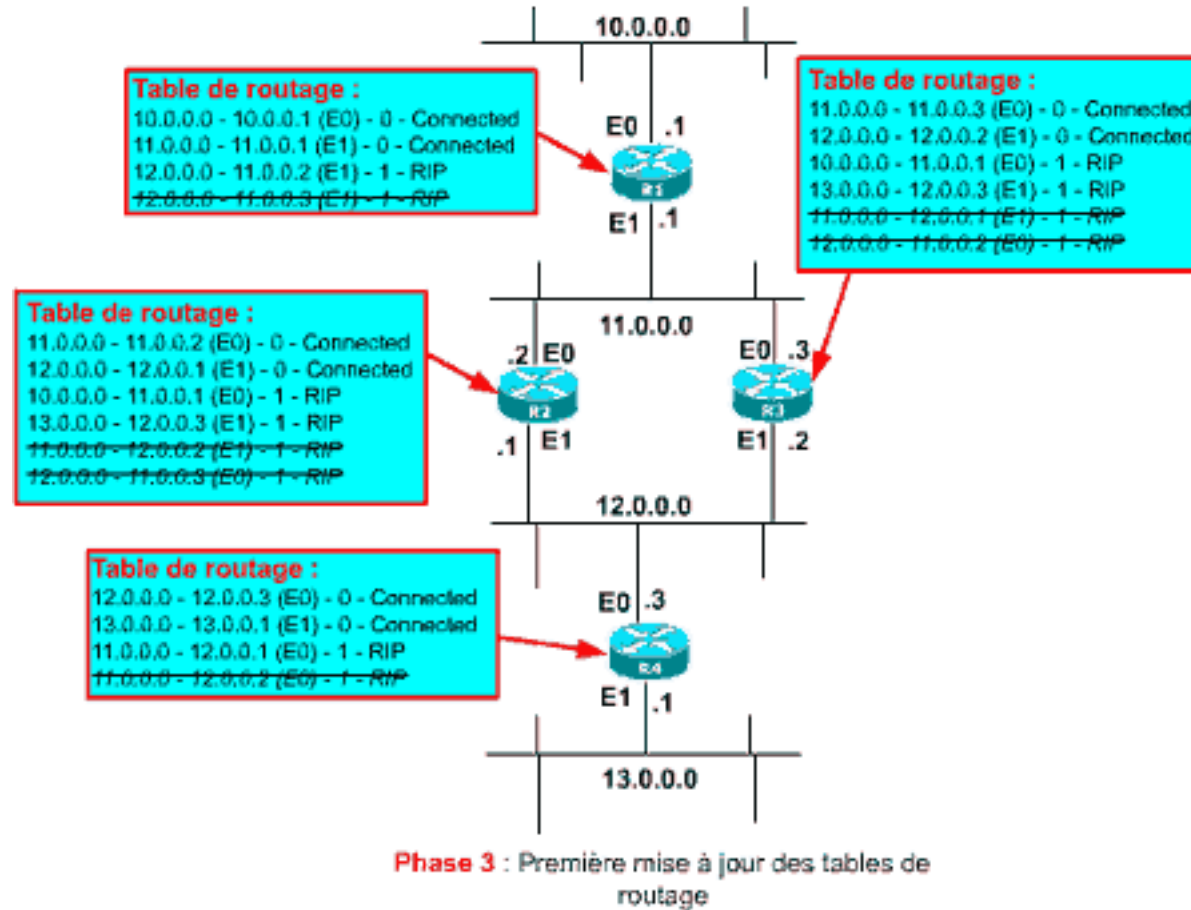
les updates sont émis sur toutes les interfaces de chaque routeur

le numéro du réseau sur lequel est émis l'update n'est pas inscrit dans l'update.

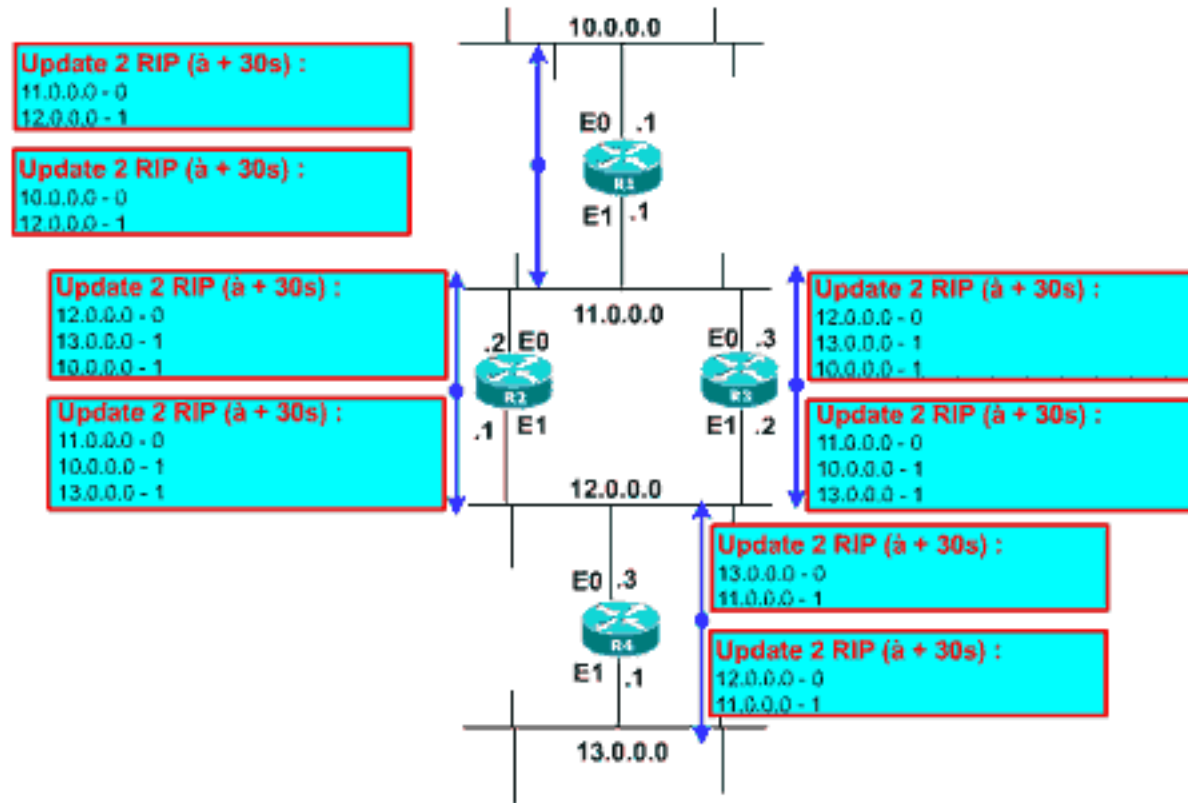


Phase 2 : Première émission d'update RIP

Phase 3 : Première initialisation des tables de routage

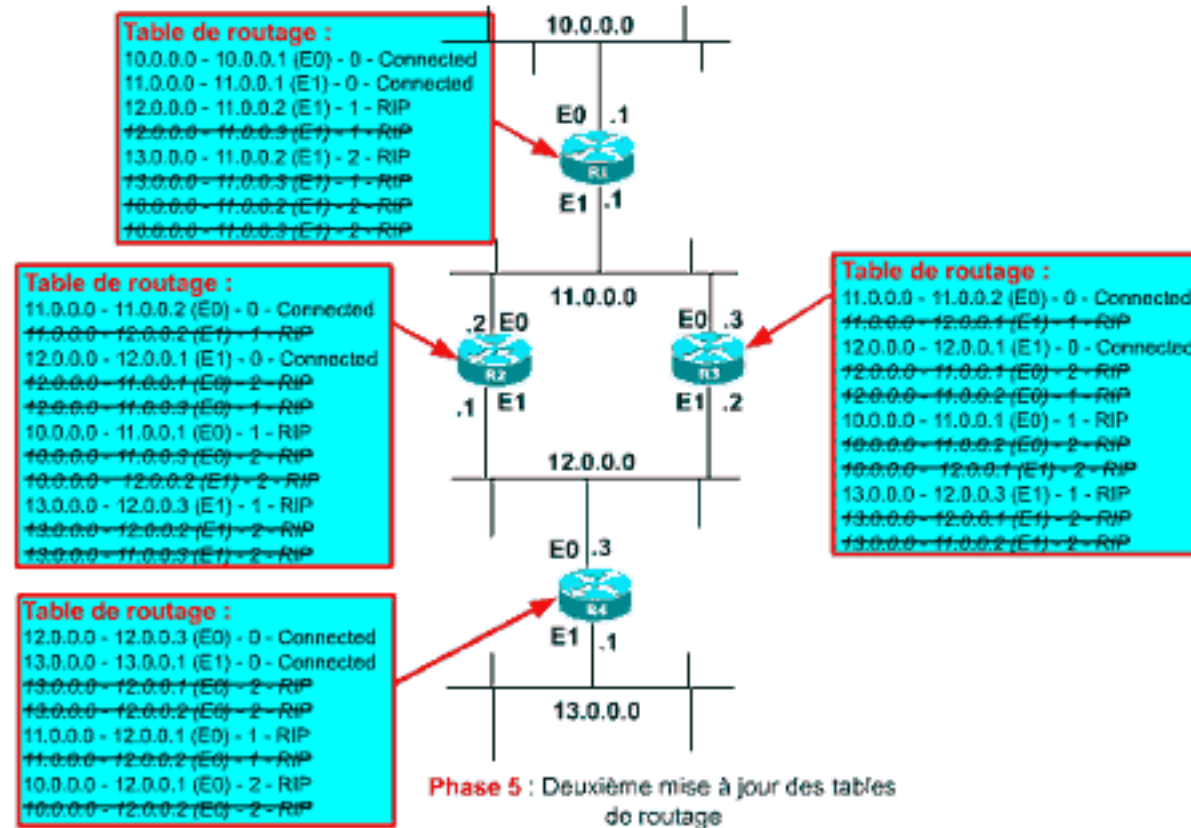


Phase 4 : Emission du deuxième update



Phase 4 : Deuxième émission d'update RIP

Phase 5 : Deuxième mise à jour de table



chaque routeur ajoute les entrées qui lui sont inconnues et ignore les entrées présentant un coût supérieur ou égal

R1 a appris la route pour 13.0.0.0 (via R2) et R4 a appris la route pour 10.0.0.0

(via R2 également). tous les réseaux sont connus par tous les routeurs : **convergence**

Principe RIP

Suppression d'une route

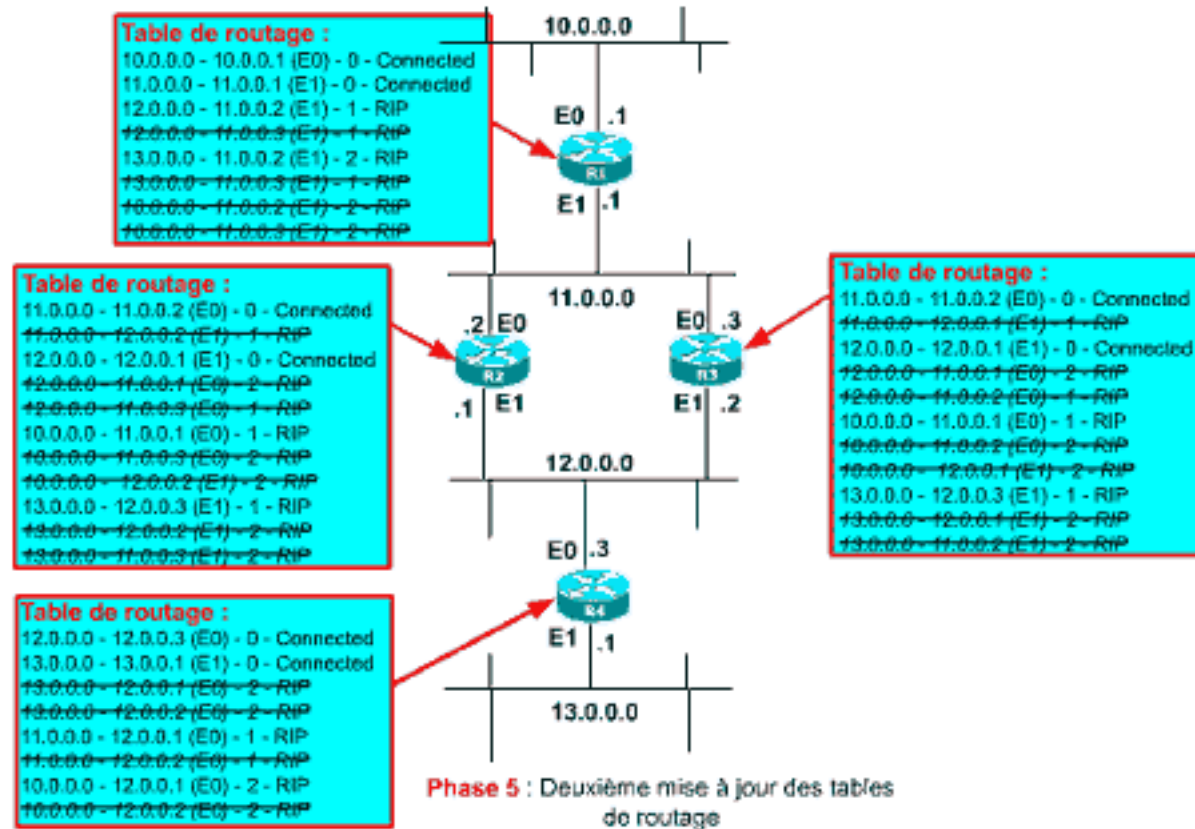
- Une route vers un réseau est inaccessible si :
- Un routeur est arrêté normalement, il envoie aux autres routeurs sa table de routage avec tous les liens à 16 (convergence rapide)
- Un lien tombe en panne → toutes les routes accessibles par ce lien sont considérées comme inaccessibles .
 - Mettre la distance à l'infini (une grande valeur connue).
 - Diffuser l'information aux autres routeurs .

Principe RIP

Suppression d'une route

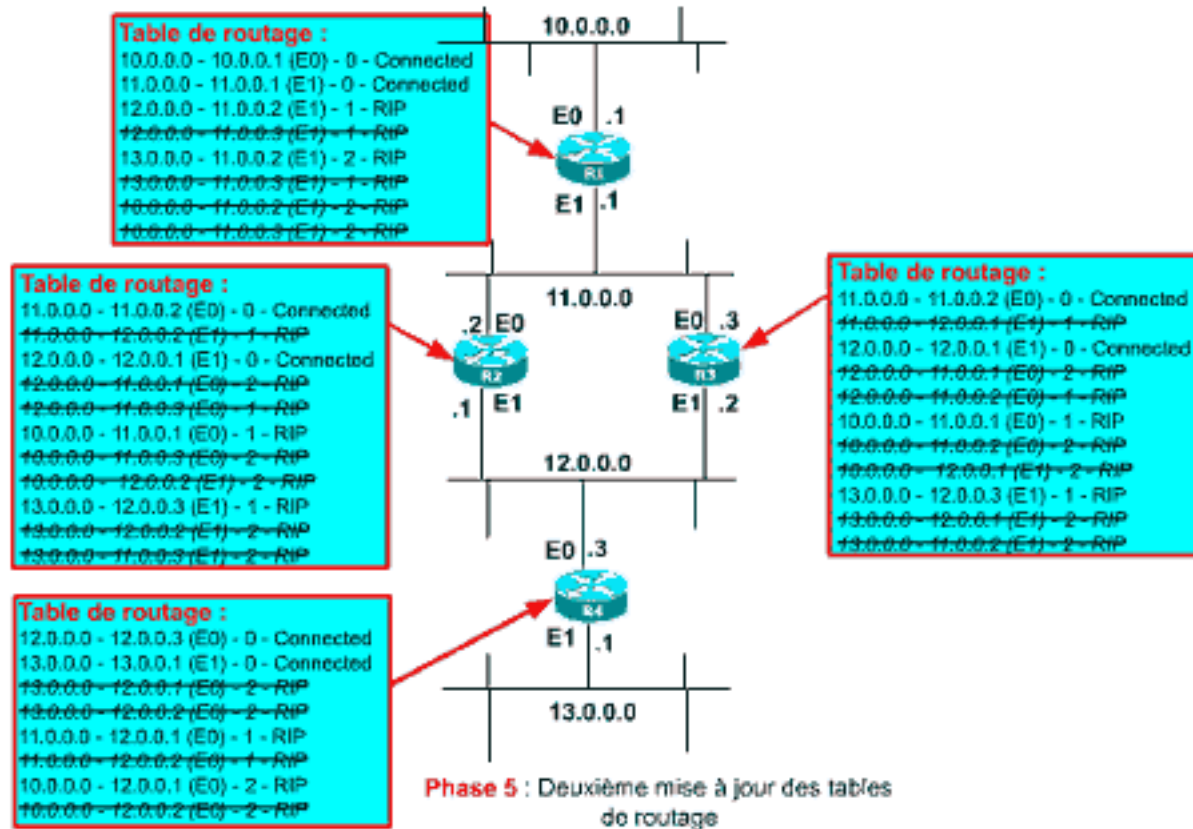
- Cas d'*un lien HS* : les routeurs directement raccordés au lien modifient l'état du réseau IP correspondant dans leur table de routage et le mettent en **Possibly Down**(*Peut-être HS*) et mettent le coût de la route à 16
- ils attendent ensuite pendant l'équivalent de 4 updates ($4 \times 30 = 240$ s) avant de considérer réellement le réseau HS
- si au bout de ces 240 s le réseau n'est pas revenu à la normale, ils valident une éventuelle route secondaire ignorée lors de précédents updates car présentant un coût plus grand que la route nominale.
- si le réseau remonte avant 2 minutes, le routeur d'accès valide de nouveau la route initiale, replace son coût à 0, et renvoie l'information de coût 0 à tous ses voisins dans le prochain update

Problème de comptage à l'infini (1)



- **R1 émet un update avec un coût de 16 pour 10.0.0.0** : à réception de l'update **R2 et R3** mât de leurs tables pour la route **10.0.0.0** en lui affectant un coût de 16
- **Puis R4, 15s plus tard, émet son update**:R2 et R3 apprennent que 10.0.0.0 est connu de R4 en 2 sauts **R2 et R3** incrémentent de 1 le coût annoncé par R4 et initialisent une nouvelle route pour 10.0.0.0 via R4 en 3 sauts !
- Puis, 5 s après , **R2 et R3 émettent un update** : R4 et R1 reçoivent donc une information selon laquelle ils peuvent atteindre 10.0.0.0 en 3 sauts. **R1 initialise une entrée dans sa table pour 10.0.0.0 via R2(ou R3) en 4 sauts** .
- **R4, va modifier le coût de sa route pour 10.0.0.0 en 4 sauts** (R2 qui contrôle le coût de sa route pour 10.0.0.0)

Problème de comptage à l'infini (2)



- Prochain update, **R4 renverra à R2 et R3 un coût de 4 pour 10.0.0.0**. Ceux-ci afficheront 5 pour cette route puisque c'est R4 qui contrôle le coût de route etc ...
- Il y aura donc ainsi un **rebond entre R2-R3 et R4 jusqu'à ce que la route atteigne un coût de 16** et soit donc déclarée inaccessible dans tous les routeurs ! C'est ce que l'on appelle le **Count to Infinity** (*comptage à l'infini* !).
- Il faudra environ 19 échanges d'updates, répartis sur 4 minutes 30 secondes environ, entre R2-R3, R1 et R4 pour que le réseau 10.0.0.0 soit bien déclaré inaccessible dans tous les routeurs !

Solution du problème du comptage à l'Infini

split horizon (horizon coupé)

Dans notre exemple, le problème vient du fait que R4 envoie une information à R2 et R3 d'une route potentiellement meilleure pour 10.0.0.0 ! Or la route pour 10.0.0.0 de R4 passe par R2-R3 !

- Interdire aux noeuds de signaler qu'ils connaissent une destination au routeur par lequel ils l'ont apprise
- R4 ne **renvoie pas** à R2 et R3 **la route vers** 10.0.0.0

Le routeur mémorise l'interface sur laquelle il a reçu une route
il ne diffusera pas cette route à travers cette interface .

- Permet d'améliorer la convergence.

Compteurs (timers) RIP

- Update : mises à jour, 30 s.
- Invalid : une route est considérée comme invalide après un certain délai (180 s) sans annonce. Elle est alors marquée à une métrique infinie.
- Flush : délai après lequel une route est retirée de la table de routage (240 s) par défaut (toujours supérieur à Invalid)
- Holddown : délai d'attente (180s) après lequel une route à métrique plus élevée est prise en compte.

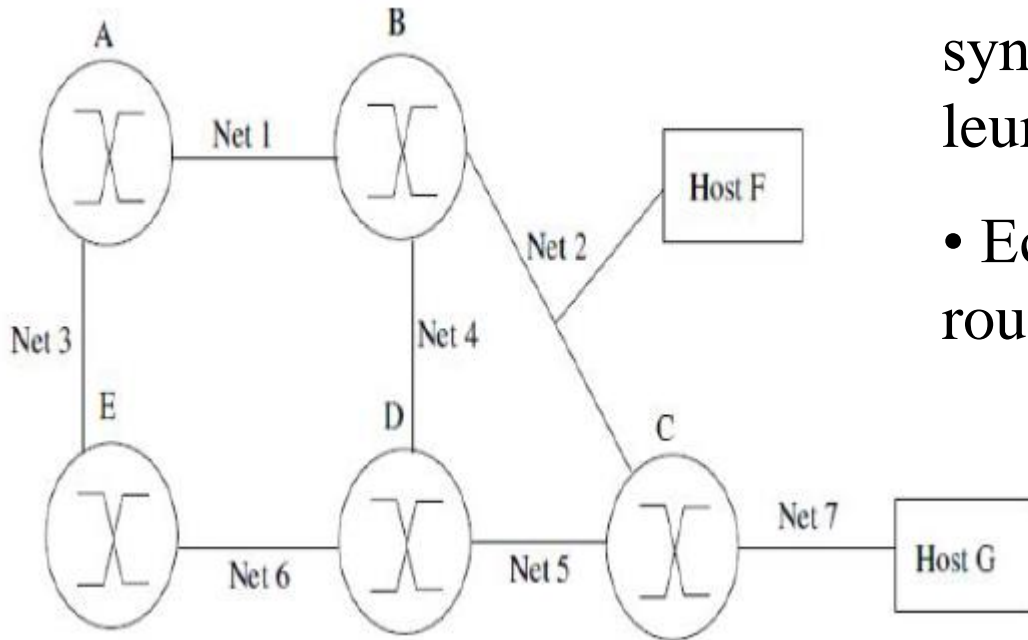
Problèmes liés à RIP

- Si le nombre de réseaux croît, la taille des informations de mise à jour devient importante et plus de routeurs échangent leurs informations
- consommation de la bande passante → Il apparaît donc que ce type de protocole n'est pas bien adapté aux réseaux de grande taille.
- Transmission d'un masque de sous-réseau avec les routes. Cette fonctionnalité permet à RIPv2 de supporter le VLSM
- L'authentification d'une mise à jour de routage peut se faire en clair ou de manière cryptée

Versions de RIP

- RIPv1
 - Les messages RIPv1 sont envoyés en broadcast
 - Ne supporte pas les sous réseaux (il n'envoie pas le masque sous réseaux)
- RIPv2
 - Améliore la première version de RIP
 - Permet d'envoyer le Netmask
 - Pour limiter les diffusions, les paquets RIP sont émis sur l'adresse multicast 224.0.0.9
 - Pour des raisons de sécurité une authentification sommaire est ajouté aux paquets RIP
- RIPng : une version du RIP pour le IPV6

Exercice



- On suppose que les mises à jour des routeurs sont synchrones, c'est-à-dire que les routeurs RIP s'échangent leurs vecteurs de distance simultanément.
- Ecrire l'évolution des tables de routage pour chaque routeur sous la forme :

Routeur A		
Destination	Passerelle	Métrique
Net 1	Direct	1
Net 2	B	2
-

On rappelle qu'en phase d'initialisation de l'algorithme, chaque routeur ne voit que les réseaux auxquels il est directement connecté. Combien de temps prend la convergence de l'algorithme ?