



Le routage

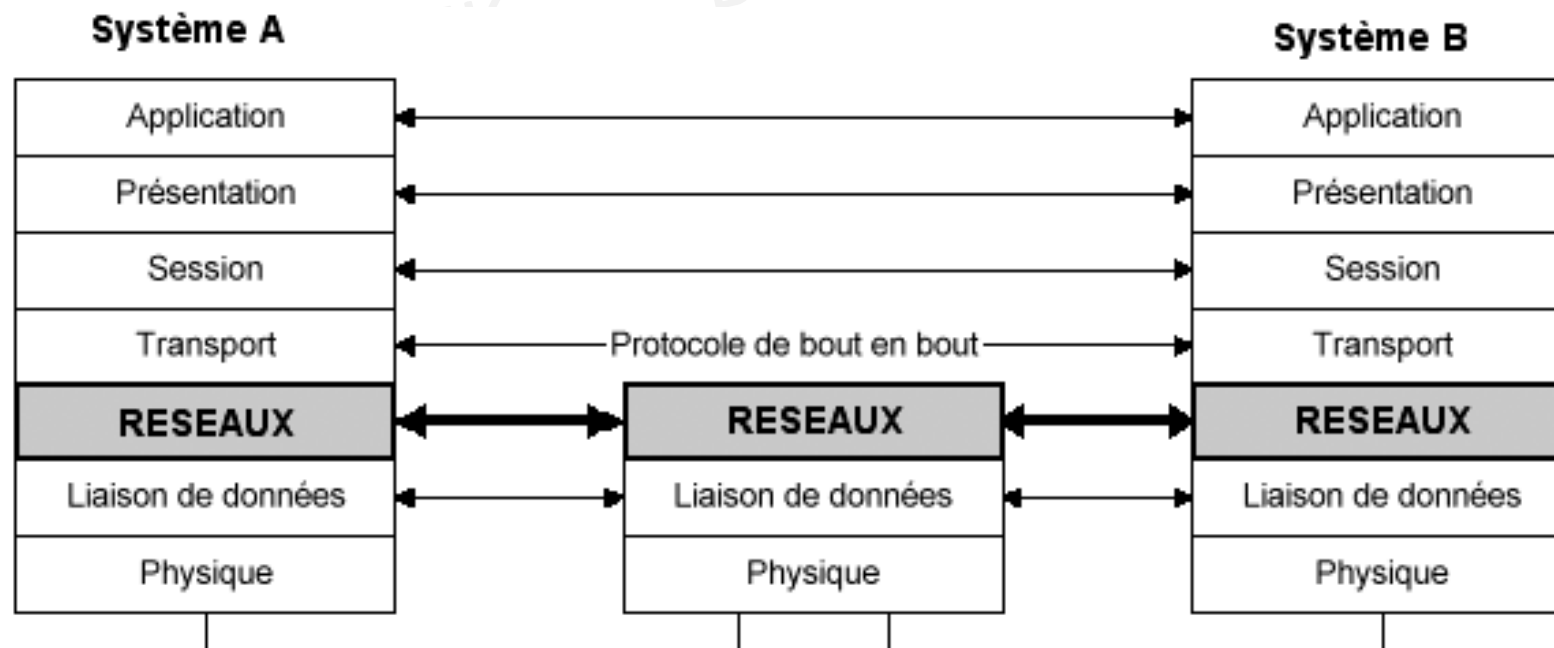
T. BEJAOU

<http://sites.google.com/site/tarekbejaoui>

RAPPEL



Rappel de la structure en couche





La couche réseau : Objectifs

- La couche RESEAU s'appuie sur la couche LIAISON et peut lui dédier certaines fonctions (expl. Contrôle d'erreurs)
- Etroitement lié à la couche TRANSPORT
- Assure la bonne transmission de chaque paquet (train) qui lui est confié par la couche transport, indépendamment des autres paquets, de l'émetteur jusqu'au destinataire, donc, éventuellement, à travers d'autres réseaux intermédiaires



La couche réseau : Objectifs

- Gère les tables de routage qui indiquent comment il faut acheminer les paquets qui traversent plusieurs réseaux avant d'arriver à destination
- Contrôle la congestion du réseau avec des algorithmes spécifiques (seau percé, files d'attentes, ...)
- Détecte et corrige les erreurs (ensemble avec la couche liaison)

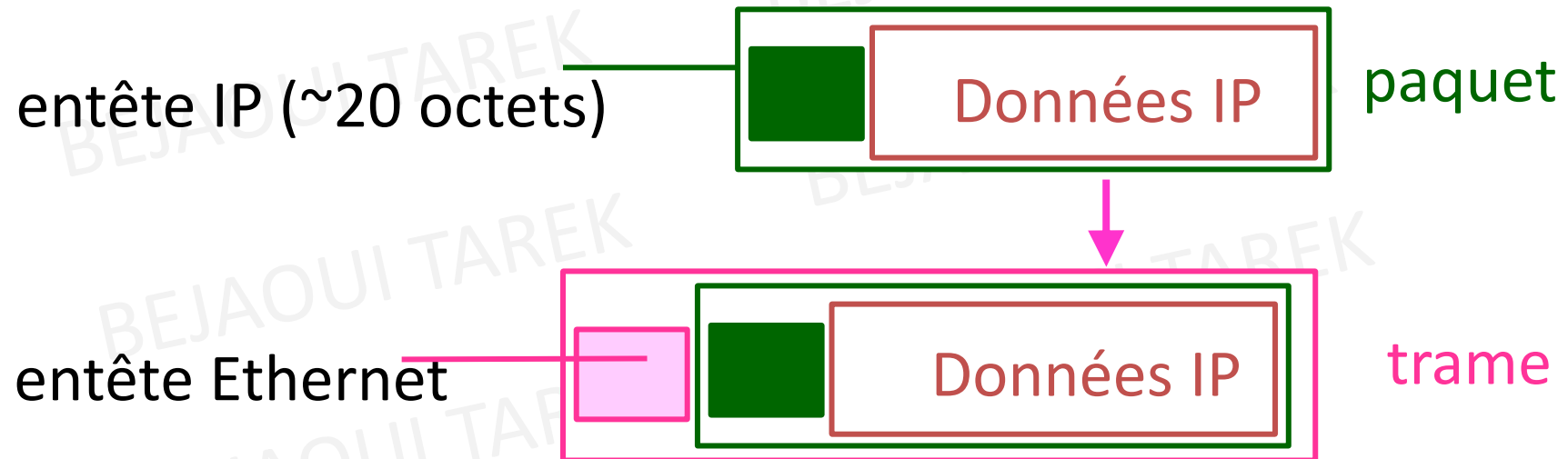


La couche réseau : Objectifs

- Acheminer (router) des données entre stations à travers un ou plusieurs réseaux à commutation.
- Assure à la couche Transport une indépendance vis-à-vis des problèmes de routage et de relais y compris dans le cas où plusieurs sous-réseaux sont utilisés.
- Unité de données : le paquet ou N-PDU

Transmission d'un Paquet IP sur Ethernet

Paquet IP est envoyé dans une trame



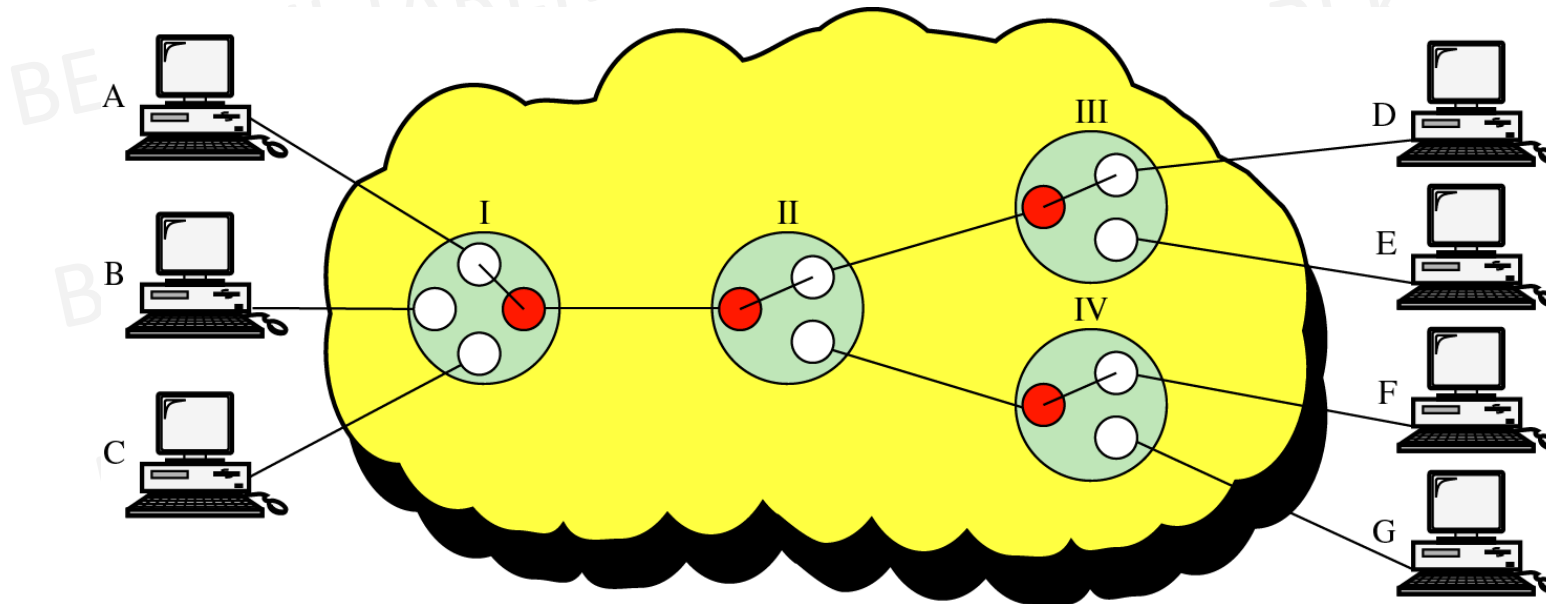


Réseaux et paquets

- Types de réseaux à grande échelle :
 - Réseaux à commutation de paquets – information fragmentée
 - Réseaux à commutation de circuits – information en flot continu
 - Réseaux à commutation de paquets pour faire de la commutation de circuits virtuels

Commutation de circuit

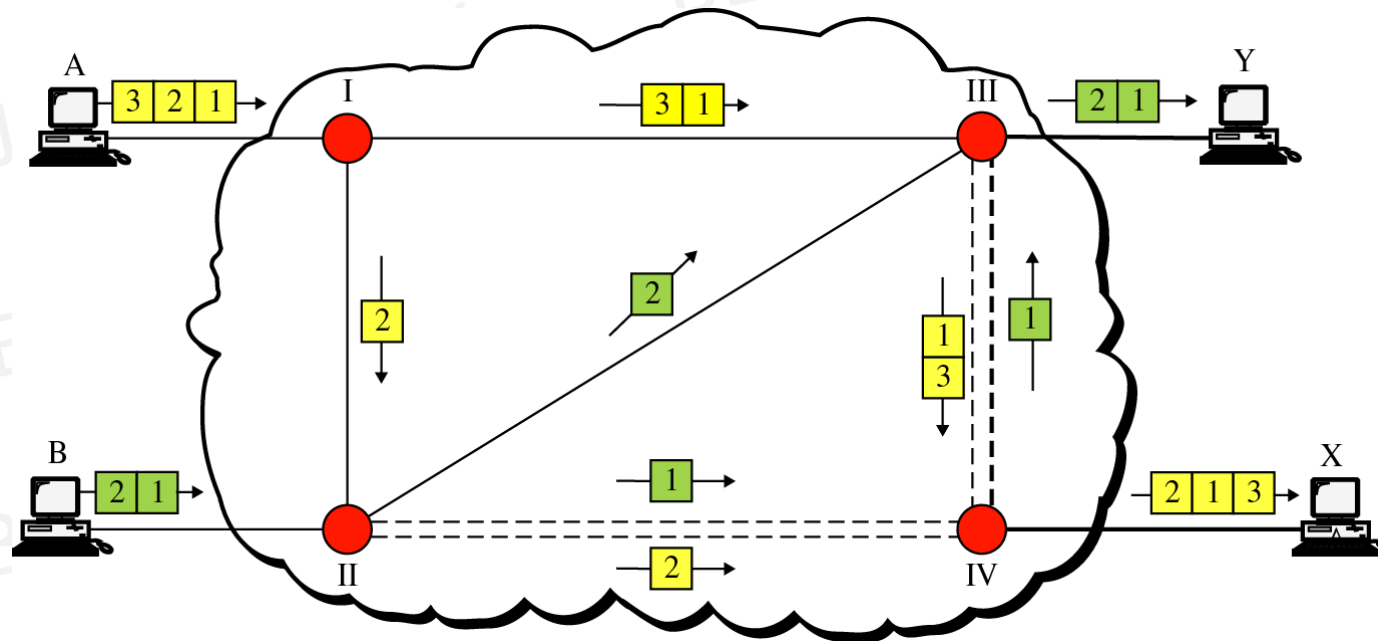
- Connexions physiques dédiées
- Source et destination opèrent au même débit
- Les données arrivent en séquences





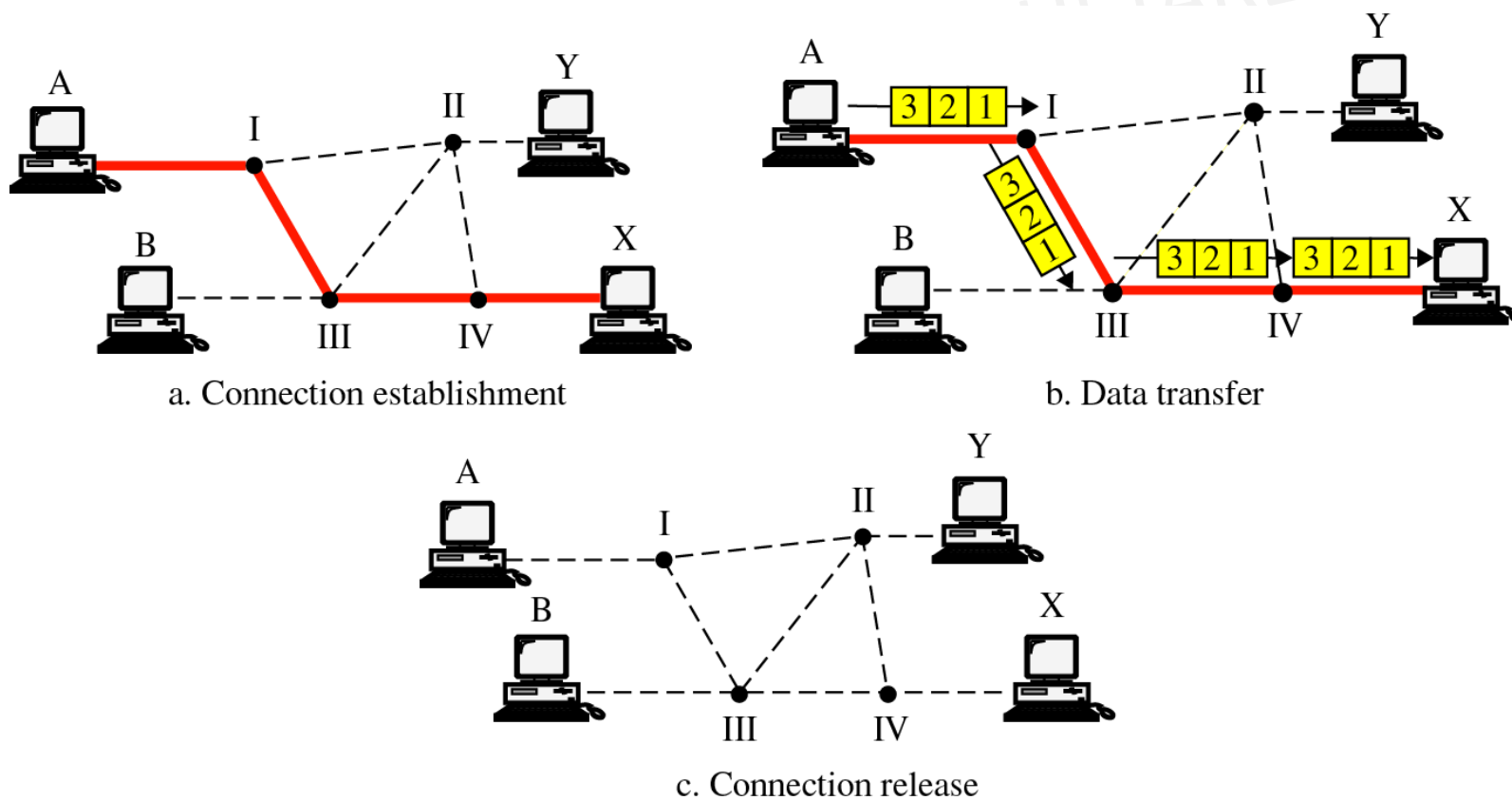
Commutation de paquets

- Store-and-forward
- La source et la destination peuvent opérer à des taux différents



Approche Datagramme
Dr. Tarek BEJAOU

Commutation de paquets



Approche Circuit virtuel

Dr. Tarek BEJAOU



Caractéristiques

- Suivant le type de réseau, le service de la couche réseau peut être :
 - Fiable (sans perte, ni duplication, ni déséquencelement)
 - Non fiable
- Les protocoles de la couche réseau peuvent fonctionner selon deux modes :
 - Mode non connecté
 - Mode connecté

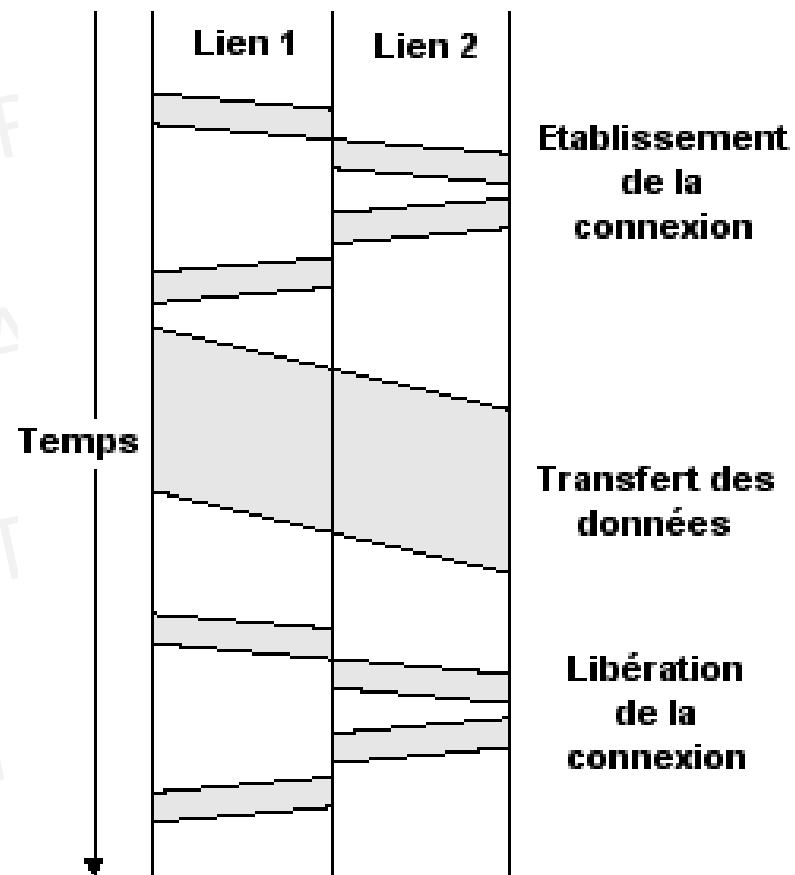


Mode Connecté

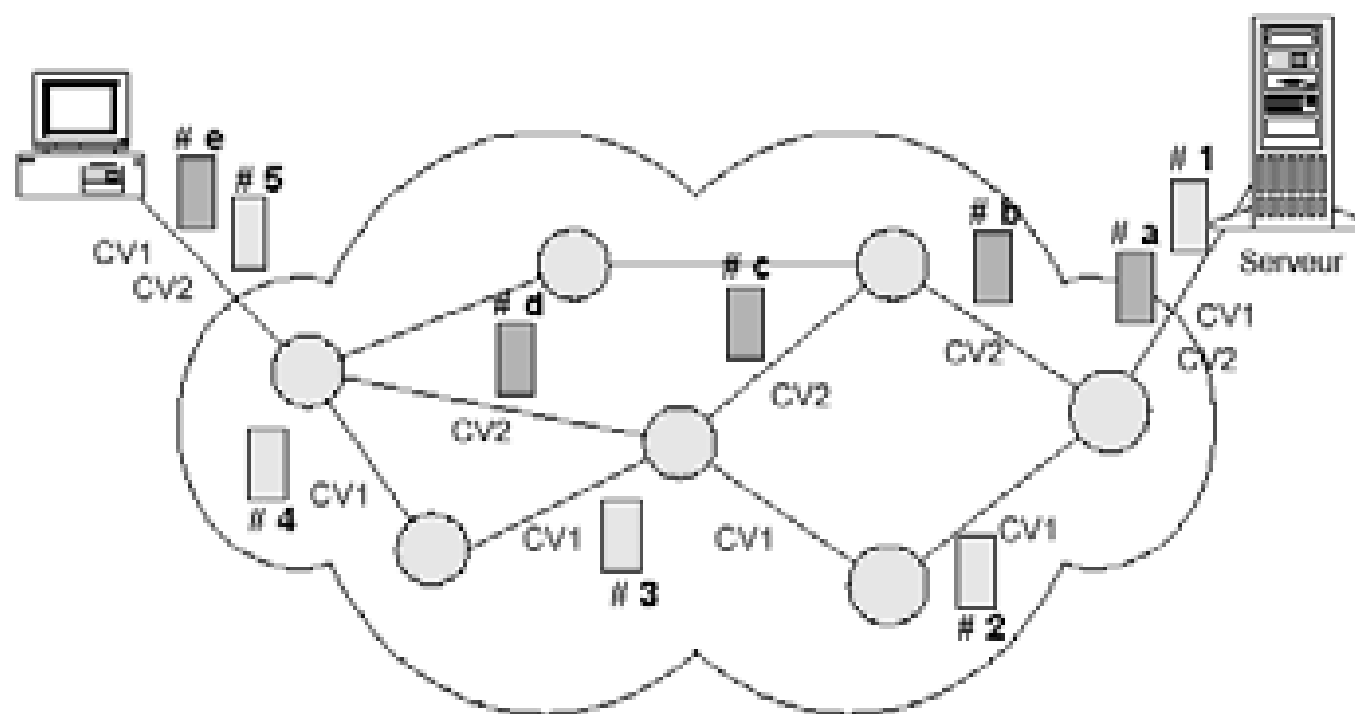
- Le mode connecté (Circuit Virtuel)
 - 3 phases :
 - **Etablissement d'une connexion**
 - **transfert des données**
 - **Libération de la connexion**
 - Service fiable
 - Complexe et chemin dédié
- Exemples de protocoles réseaux:
 - X.25.3 ou X.25 PLP (Packet Level Protocol), RNIS.



Mode Connecté



Mode Connecté

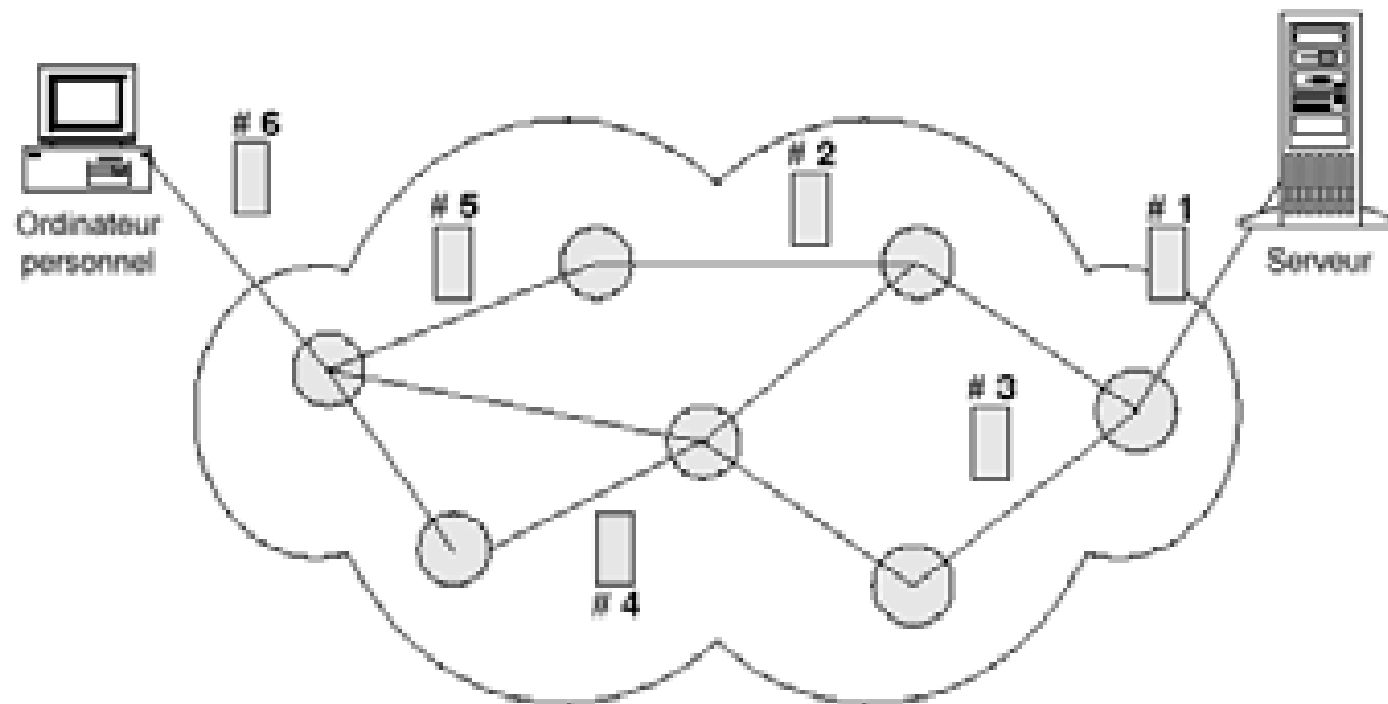




Mode Non Connecté

- Le mode Non connecté (Datagramme)
 - 1 seule phase : Transfert des données
 - Service non fiable
 - simple
 - plusieurs chemins possibles
- Exemples de protocoles réseaux:
 - IP, ISO CLNP (Connectionless Network Protocol).

Mode Non Connecté





Contrôle de Congestion vs Contrôle de flux

Contrôle de flux (préventif) $\neq$ Contrôle de congestion (réactif)

- Exemple 1 : Contrôle de flux
 - **cas d'un réseau Gigabit Ethernet**
 - **transfert d'un fichier entre une station Fast Ethernet et une station Ethernet 10BaseT**
- Exemple 2 : Contrôle de congestion
 - **cas d'un réseau WAN avec des liens à 1 Mbps et 1000 stations connectées**
 - **Transfert de fichiers à 100 kbit/s par la moitié des stations (50 Mbit/s requis)**



Contrôle de Congestion

- Fonction pour éviter la dégradation des performances d'un réseau dû à la présence d'un trop grand nombre de paquet dans ce même réseaux.
 - Contrôle de congestion par notification
 - **envoi de paquet d'engorgement pour prévenir la source de diminuer son émission lorsqu'une congestion est détectée dans un nœud**
 - Contrôle de congestion par destruction de paquets
 - **destruction des paquets arrivant dans un nœud congestionné et ne peuvent pas être stockées dans les tampons (ATM)**
 - **destruction des paquets résidant dans une file d'attente au delà d'un délai (IP)**



Contrôle de flux

- Contrôle de congestion par sur-allocation des ressources
 - **utilisation de seuil de détection de surcharge**
- Contrôle de flux par fenêtre / seuil d'entrée:
 - **Applicable entre deux extrémités (processus utilisateur)**
 - **acquittement local des paquets entre la station et le réseau (X.25)**
- Contrôle de flux par crédits
 - **Option 1 : limitation du nombre de crédit utilisable dans le réseau**
 - **Option 2 : crédit dédiés pour chaque station**

LE ROUTAGE

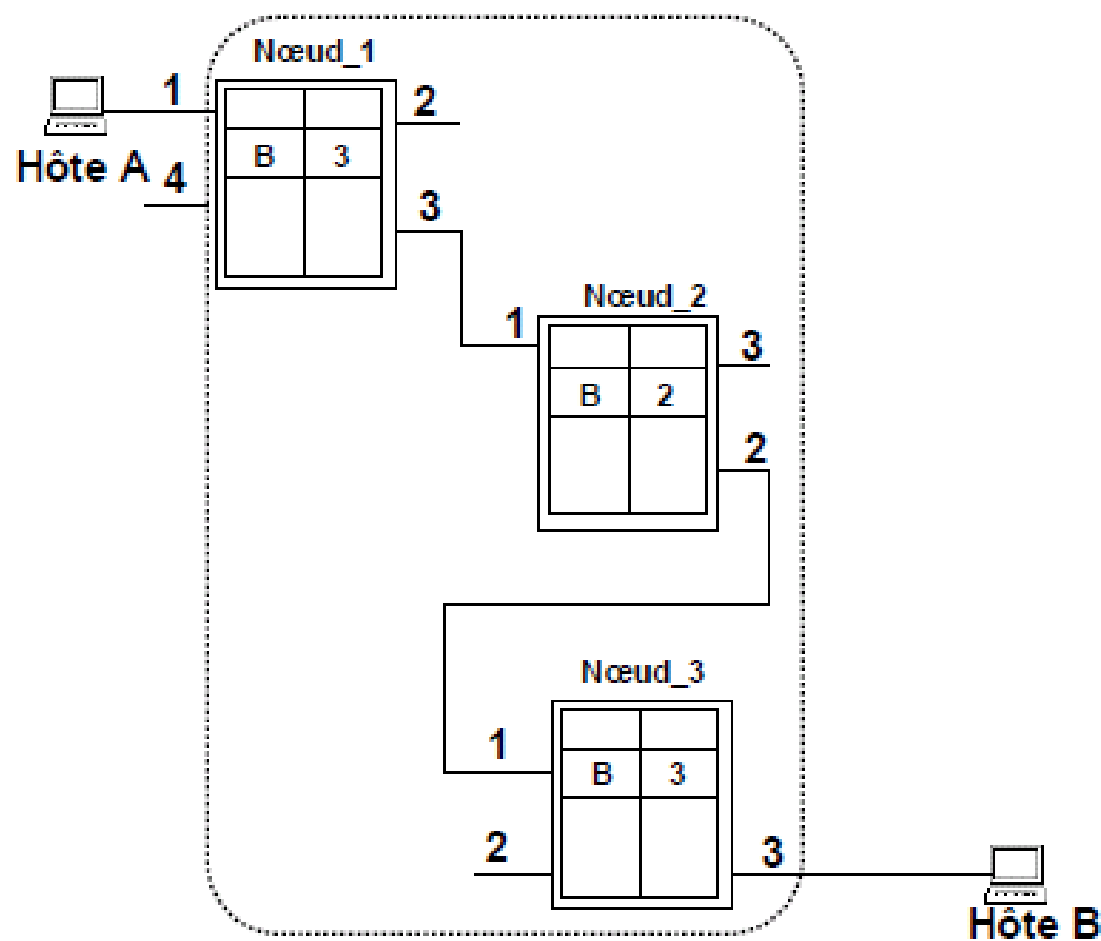


Qu'est ce que le routage ?

- Fonction qui permet de déterminer un chemin dans un réseau maillé vers une destination identifiée par une adresse → Processus par lequel un élément (courrier, appels téléphoniques, trains, paquets IP, ...) va être acheminé d'un endroit à un autre.
- Utilisation de :
 - TABLE DE ROUTAGE (ou table d'acheminement) dans chaque nœud : information nécessaire pour atteindre le prochain nœud vers la destination.
 - ALGORITHME DE ROUTAGE : calcul d'un chemin optimal pour atteindre une destination
- Un élément faisant du routage doit connaître donc :
 - La destination,
 - De quelle source il peut apprendre les chemins d'accès à la destination voulue,
 - Les itinéraires possibles pour atteindre la destination,
 - Le(s) meilleur(s) itinéraire(s) pour atteindre la destination,
 - Un moyen d'actualiser les itinéraires.



Table de Routage



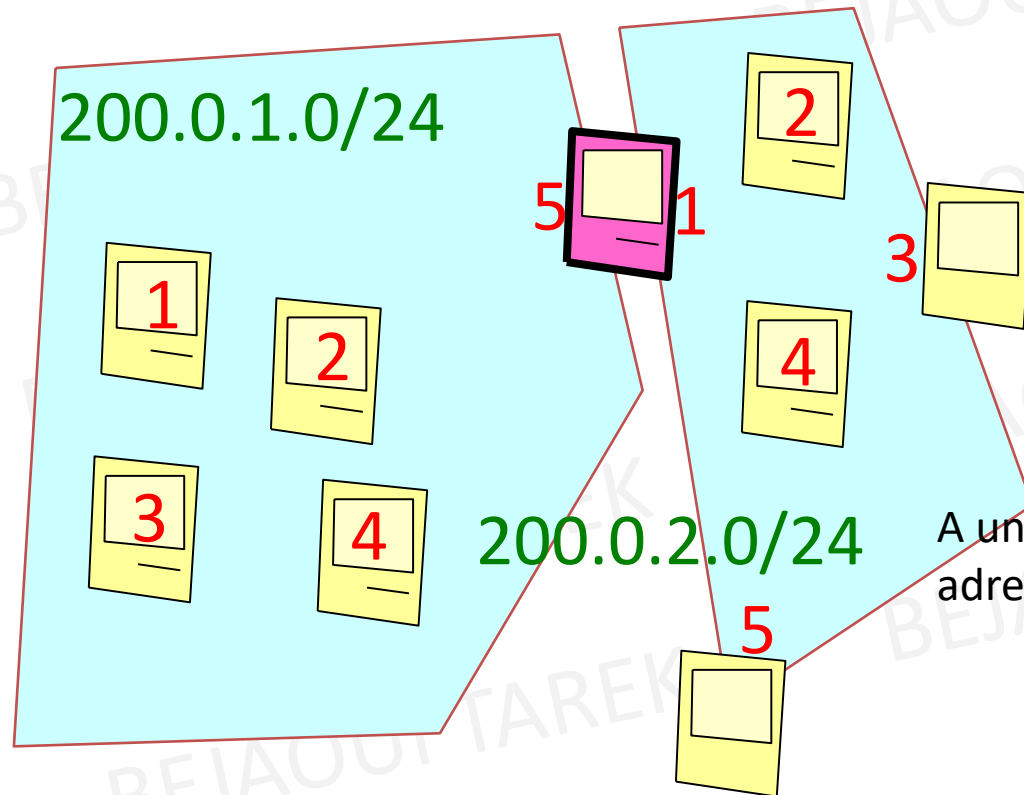
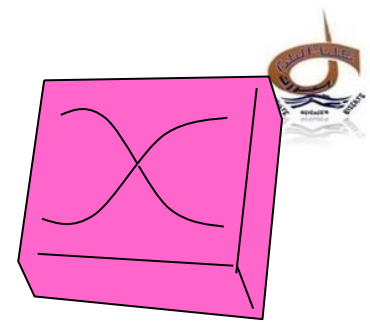


Le routeur

Un routeur est :

- Ordinateur spécialisé qui relie deux réseaux et permet de faire passer les paquets de l'un à l'autre
- Élément d'interconnexion de niveau 3
- Mise en œuvre des mécanismes du niveau 3

Routeurs



Routeurs : machines ayant plusieurs interface réseaux

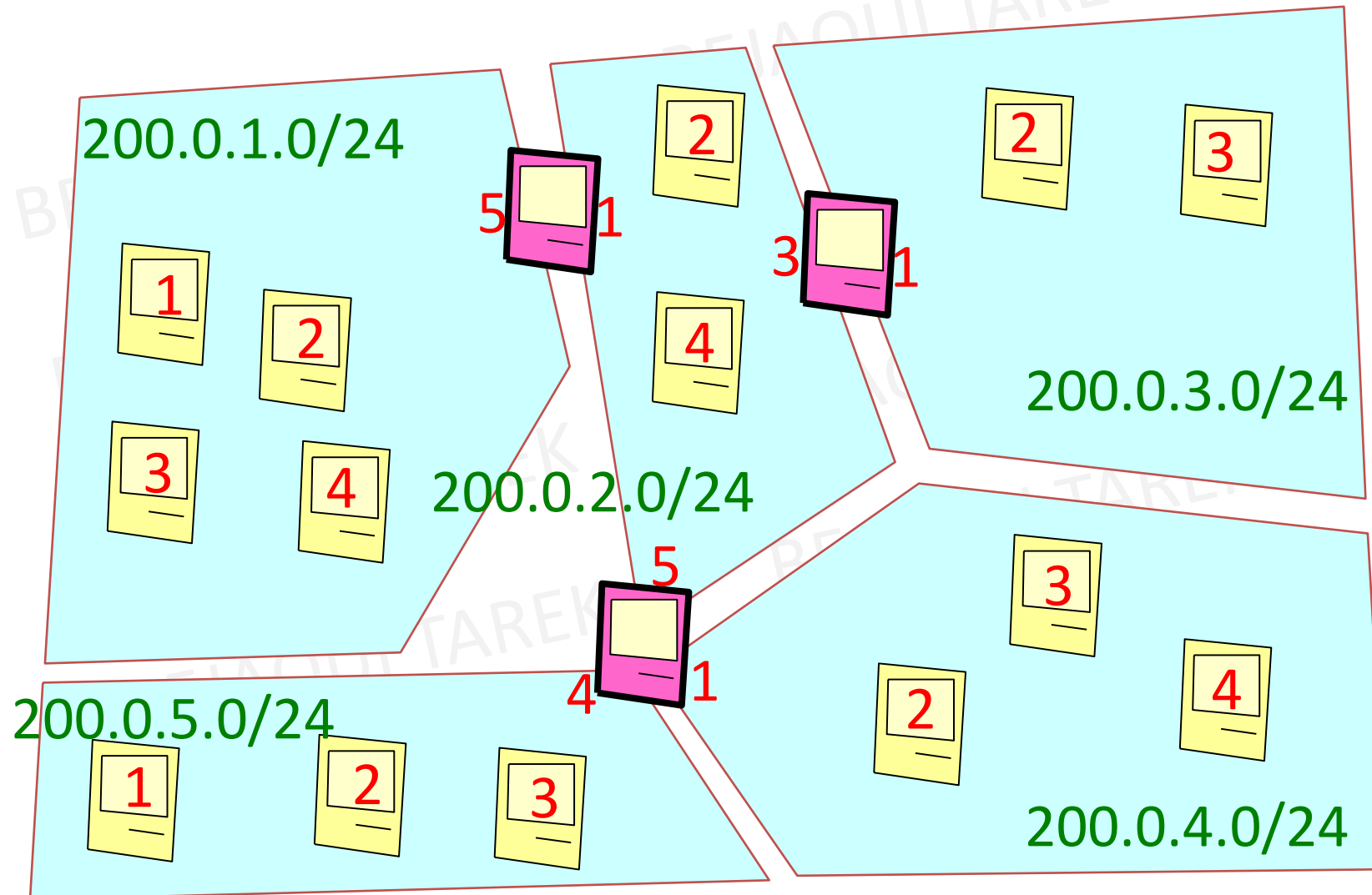
A une interface réseau est associée une adresse IP

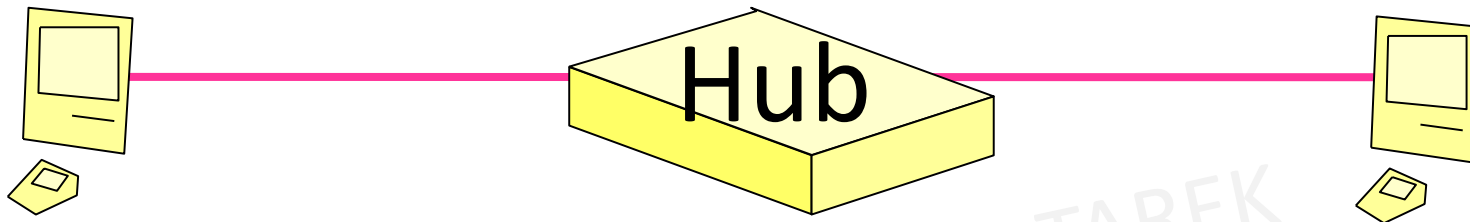
Passerelle - Gateway



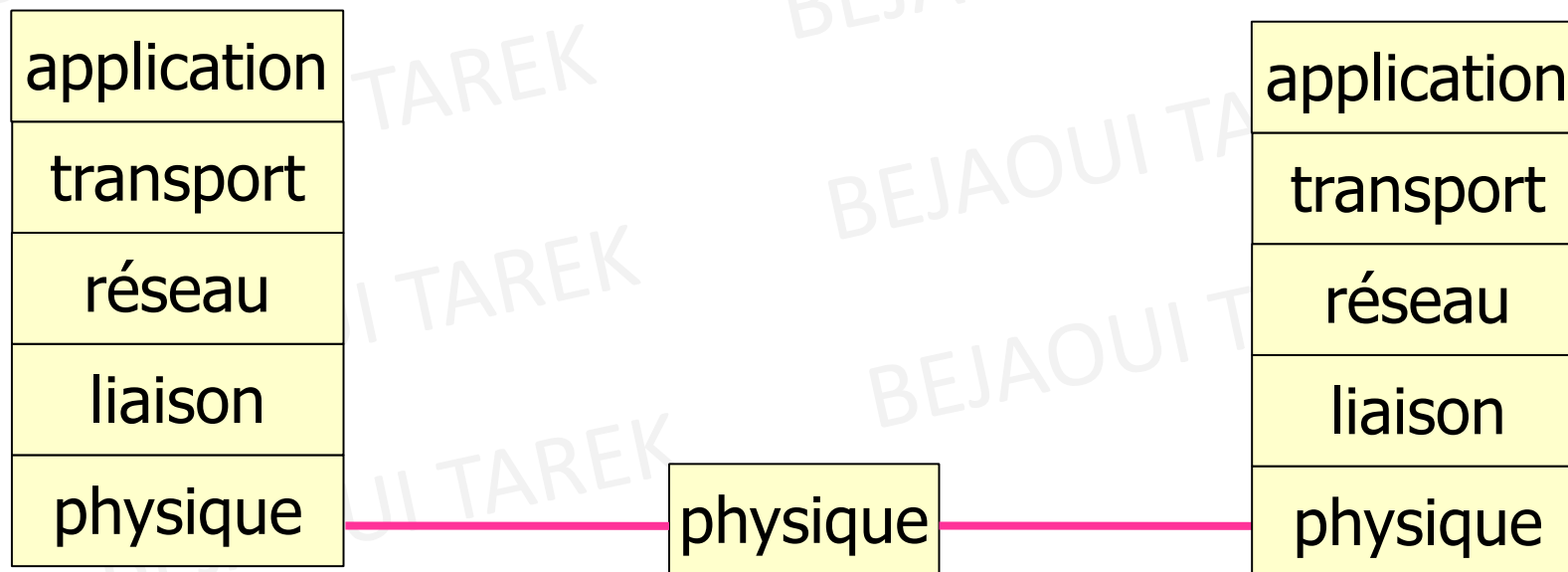
Routeurs - suite

3 routeurs dont 1 ayant 3 interfaces réseau

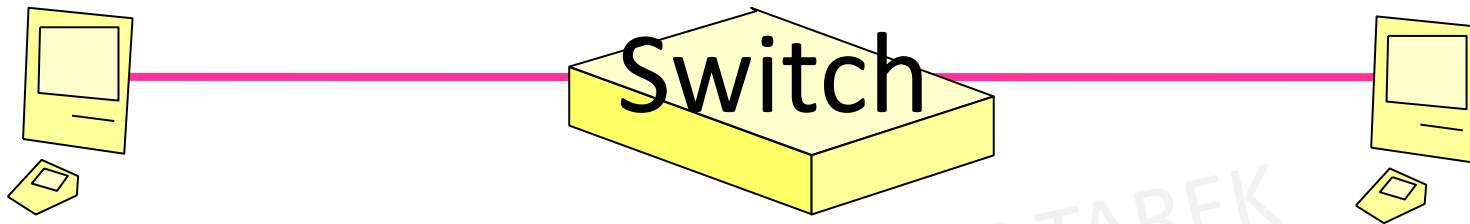




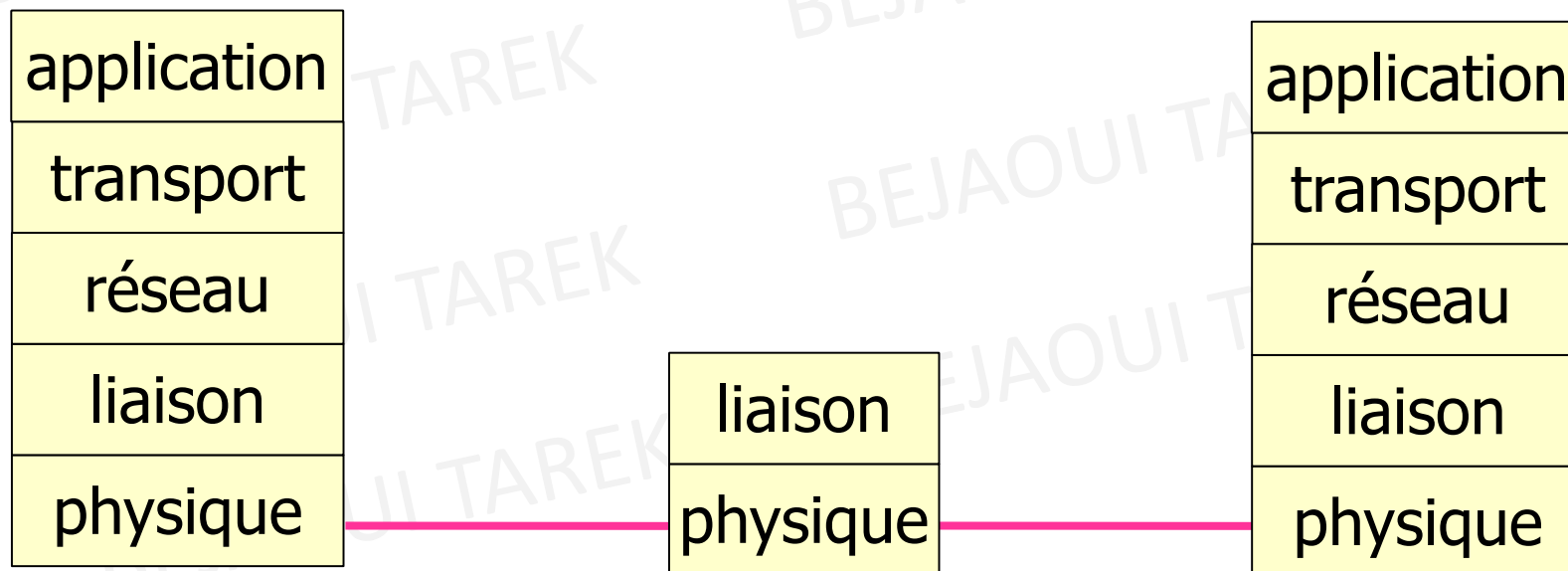
Duplique les signaux sur tous les liens physiques, donnant l'illusion d'un unique support



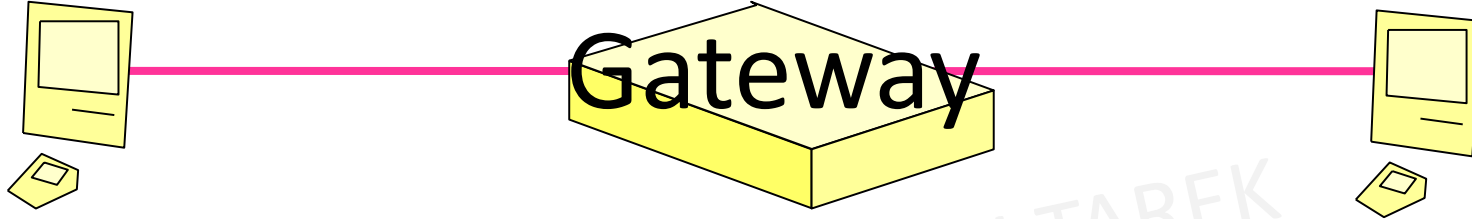
Hub = Concentrateur



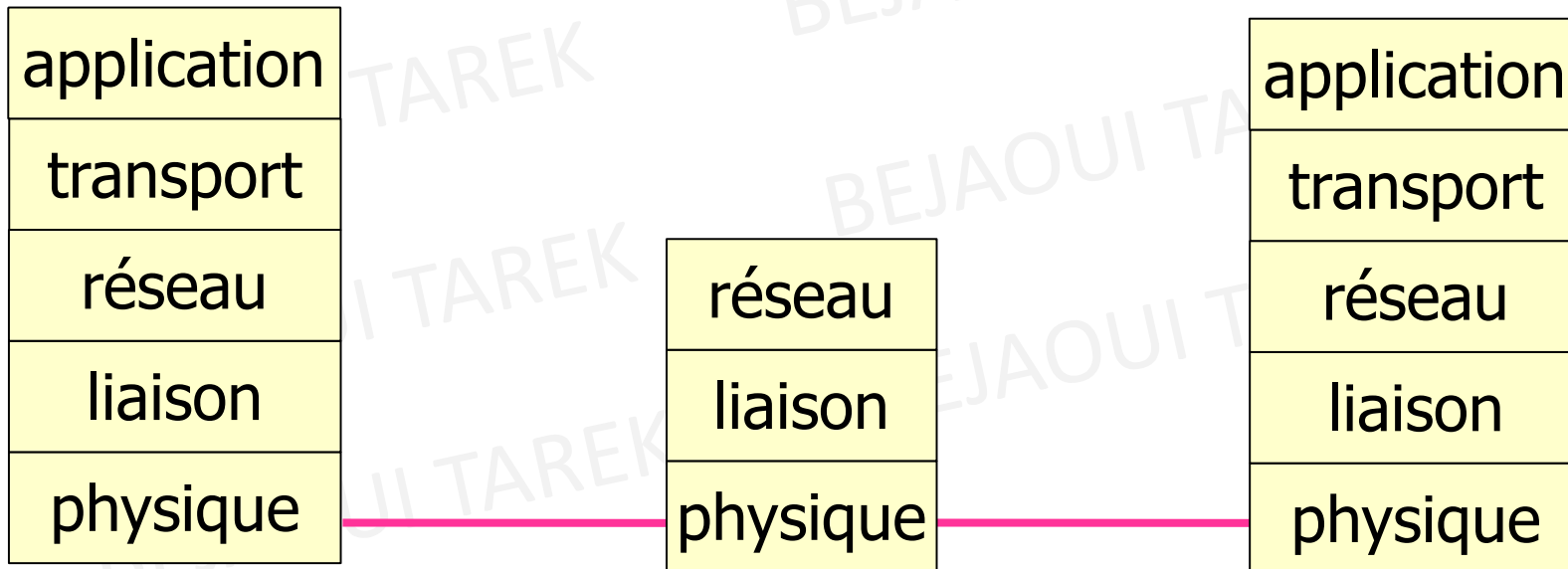
Apprend quelle machine (**adresse physique**) se trouve derrière quel lien, puis ne retransmet les trames seulement sur le bon lien



Switch = Commutateur

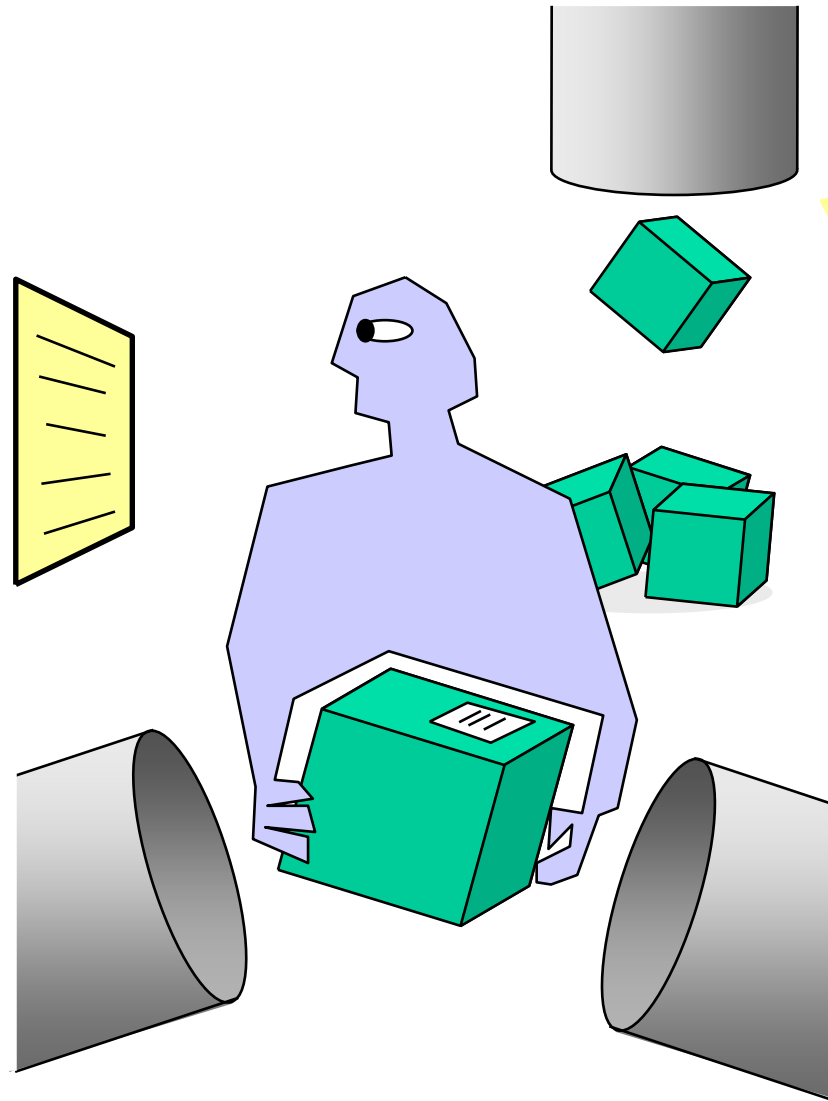


Transmet chaque paquet IP sur la bonne interface en utilisant une table de routage



Gateway = Routeur

Rôle du routeur



A la réception d'un paquet IP, en fonction du destinataire du paquet IP, le routeur garde le paquet IP ou il l'envoi sur l'une de ses interfaces réseau

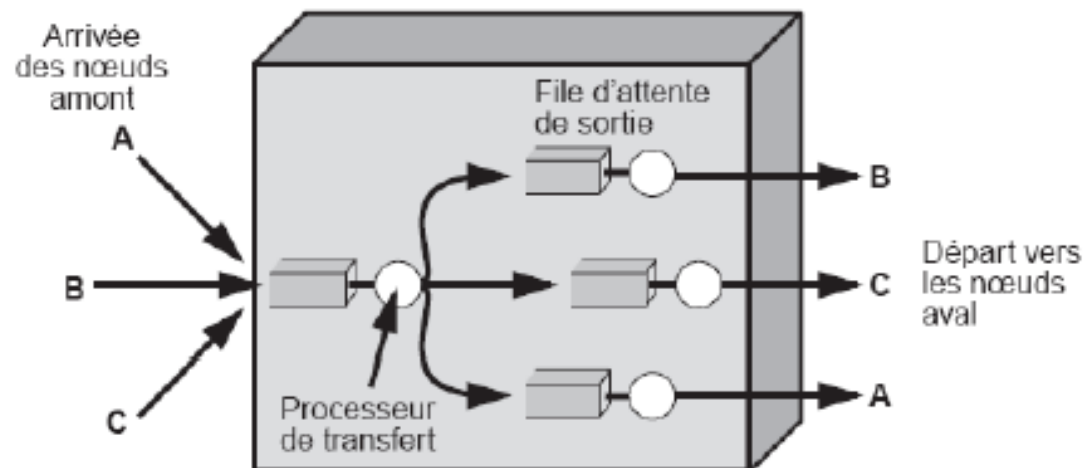
Le routeur détermine le choix de l'interface à l'aide de sa table de routage et du destinataire finale



Nœud de communication

Les fonctions principales d'un nœud de transfert sont les suivantes :

- Analyse et traduction de l'en-tête du paquet
- Commutation ou routage
- Multiplexage des paquets sur la sortie déterminée



Pourquoi faire du routage sur un réseau ?



- **Un équipement sur un réseau local**
 - Peut atteindre directement les machines sur le même segment sans routage (ARP),
 - Ne peut pas atteindre les équipements sur un autre réseau (ou sous-réseau) sans un intermédiaire.
- **Qui doit faire du routage sur un réseau ?**
 - Équipement connecté à 2 réseaux ou sous-réseaux au moins,
 - Station de travail avec 2 interfaces réseau au moins,
 - Routeur (CISCO, Juniper, BayNetworks, ...)



Principes du routage IP

- Routage IP basé uniquement sur l'adresse du destinataire
- Chaque équipement du réseau sait atteindre un équipement d'un autre réseau, s'il existe au moins un équipement de routage pour acheminer les paquets à l'extérieur du réseau local.
- Les informations de routage sont mémorisées dans la table de routage des équipements (routeurs).
- Cette table doit être périodiquement mise à jour
 - Manuellement : routage STATIQUE
 - Automatiquement : routage DYNAMIQUE



Concept du routage

- Le routeur utilise **l'adresse de la destination** du datagramme pour choisir l'entité à laquelle il transmet le datagramme
- Tout ordinateur ayant **plusieurs** points d'accès à divers réseaux peut se comporter comme routeur



Formes de routage

Deux formes de routage :

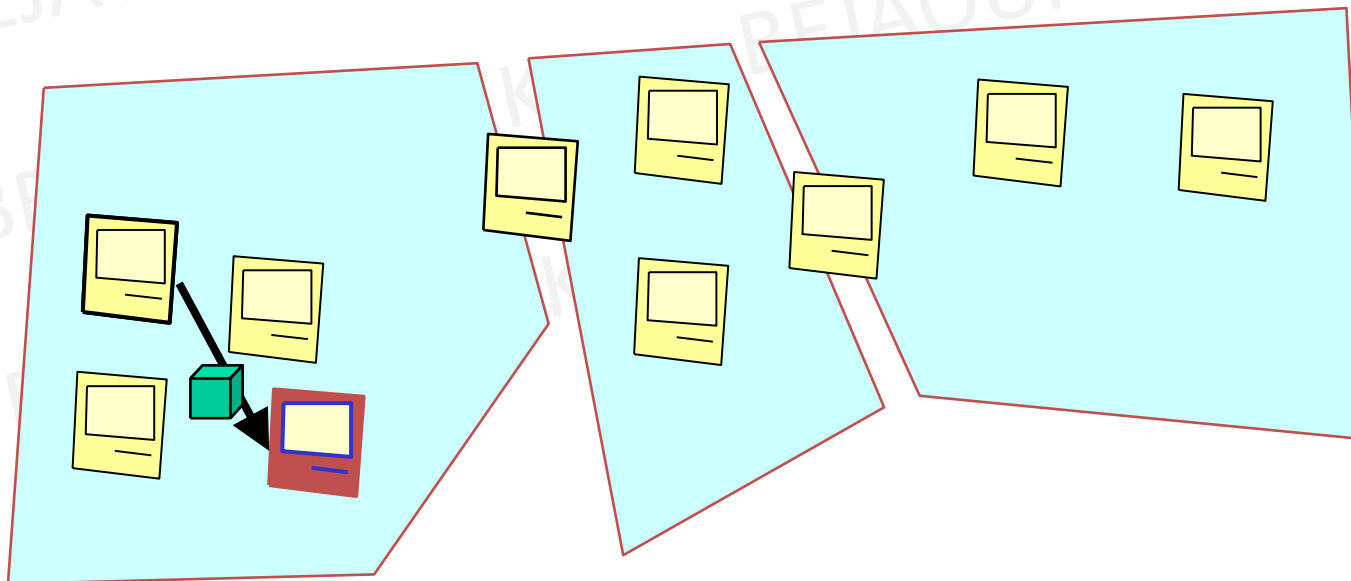
- **Remise directe** d'un datagramme :
 - Correspond au transfert direct d'un datagramme entre deux ordinateurs
 - La source et la destination doivent être reliées au même support de transmission



Routage direct

Si le **destinataire** est directement accessible
par une des interfaces

Alors on émet le paquet sur cette interface





Formes de routage

- **Remise indirecte des datagrammes:**
 - Les données échangées doivent transiter par au moins un routeur
 - **Calcul de routage**
 - L'expéditeur doit identifier un routeur vers lequel envoyer le datagramme
 - Le routeur doit faire suivre le datagramme vers le réseau correspondant à sa destination finale

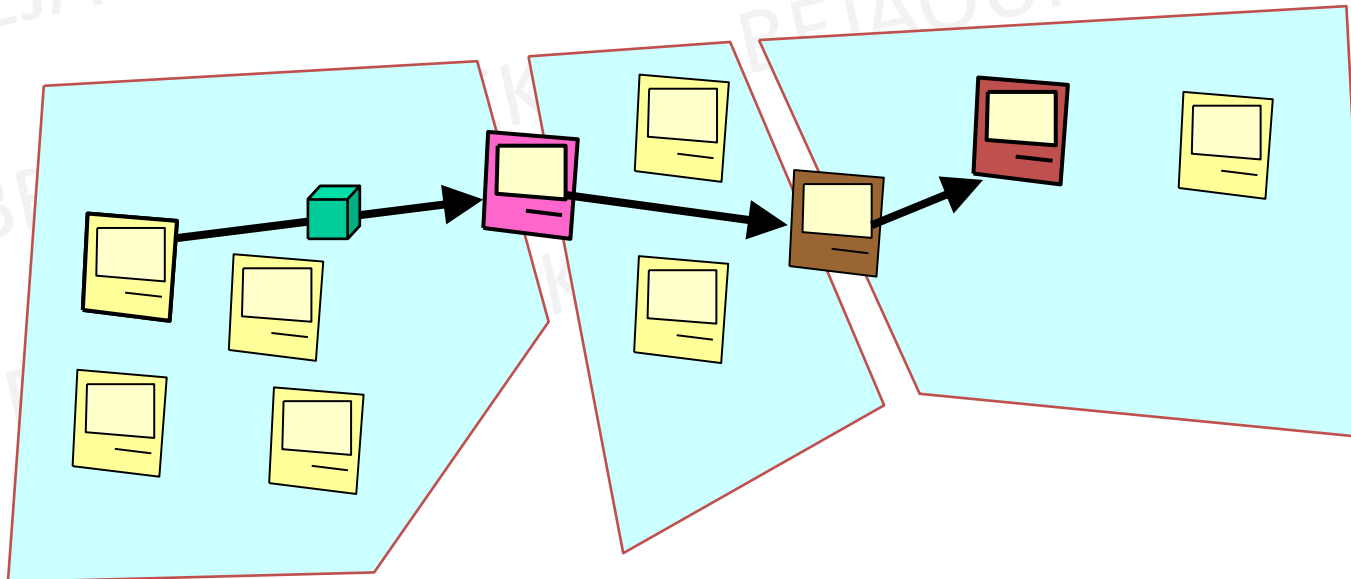


Routage indirect (via passerelle)

Si le **destinataire** se trouve derrière un routeur

Alors il faut envoyer le paquet vers cette
passerelle (gateway)

– la passerelle est un routeur –



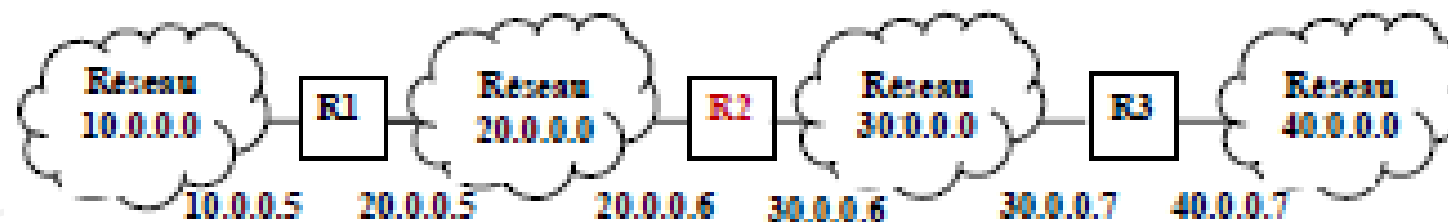


Les tables de routage

- La **table de routage** :
 - Constituer l'outil fondamental de prise de décision du routeur
 - Contenir les informations relatives aux différentes destinations possibles et la façon de les atteindre
- Chaque fois qu'un routeur doit transmettre un datagramme, il consulte sa table pour déterminer où envoyer le datagramme



Les tables de routage



La table de routage de **R2** :

Entrées (Pour atteindre les ordinateurs situés sur le réseau)	Prochain saut (Router sur cette adresse)
20.0.0.0	Remise directe
30.0.0.0	Remise directe
10.0.0.0	20.0.0.5
40.0.0.0	30.0.0.7

Contenue Table de routage



#format: destination, interface, flag (D=Direct, G=gateway)

si destinataire est dans le réseau 127/8 alors envoyer le
#paquet sur interface “lo” (routage direct)

127/8 lo D

si destinataire est dans le réseau 200.0.1.0/24 alors
#envoyer le paquet sur interface “eth0” (routage direct)

200.0.1.0/24 eth0 D

autres cas, le paquet est envoyé sur interface “eth0”
#(routage indirect) - la passerelle 200.0.1.5 prendra en
#charge le paquet

default eth0 G 200.0.1.5



Format

127/8	lo	D	
200.0.1.0/24	eth0	D	
default	eth0	G	200.0.1.5

Ligne « boucle locale » est obligatoire

Destination : adresse IP ou adresse réseau

« G » est suivi de l'adresse IP de la passerelle

au choix de l'adresse



Table de routage

127/8	lo	D	
200.0.1.0/24	eth0	D	
default	eth0	G	200.0.1.5

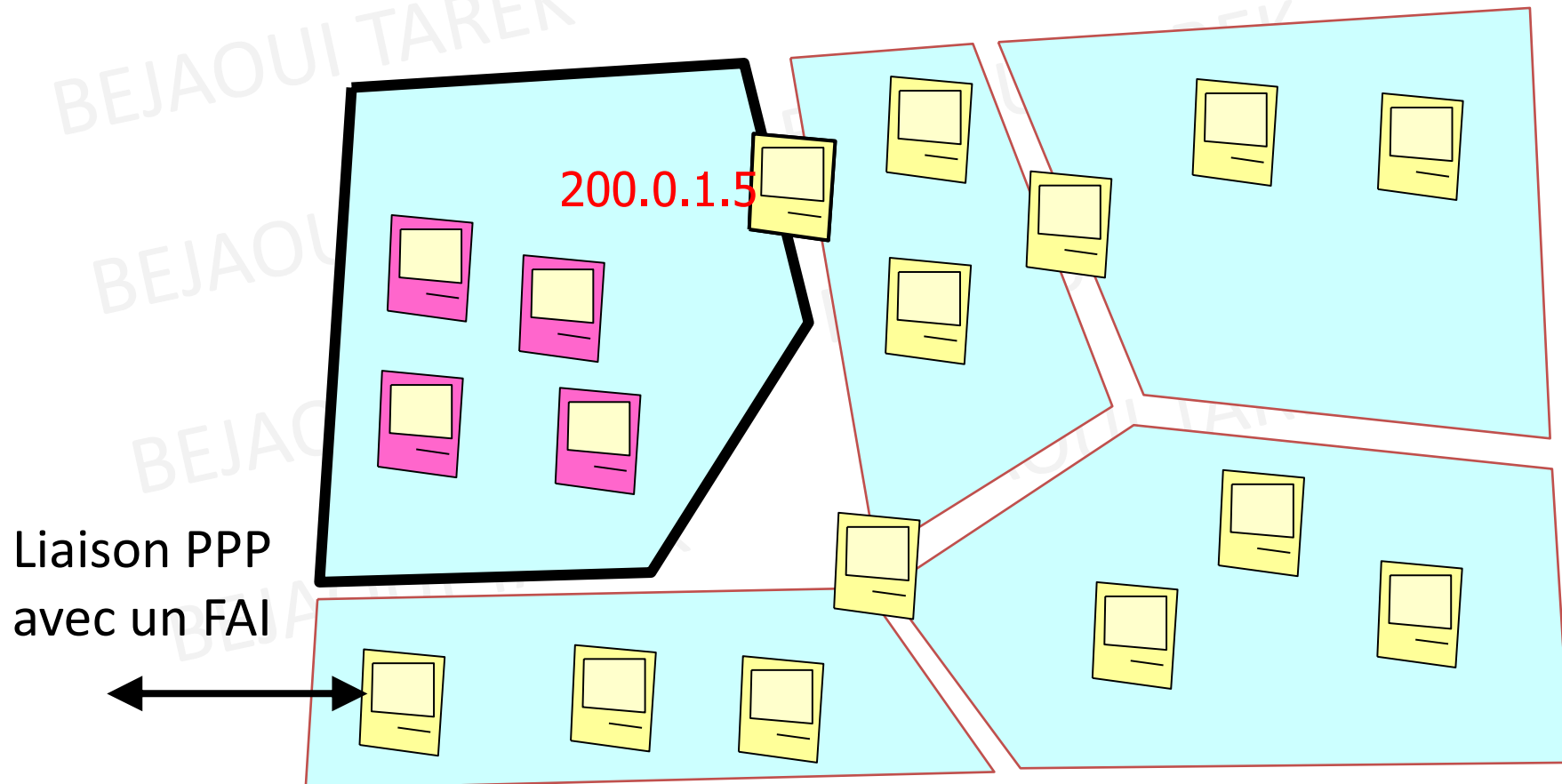


Table de routage

127/8	lo	D	
200.0.3.0/24	eth0	D	
default	eth0	G	200.0.3.1

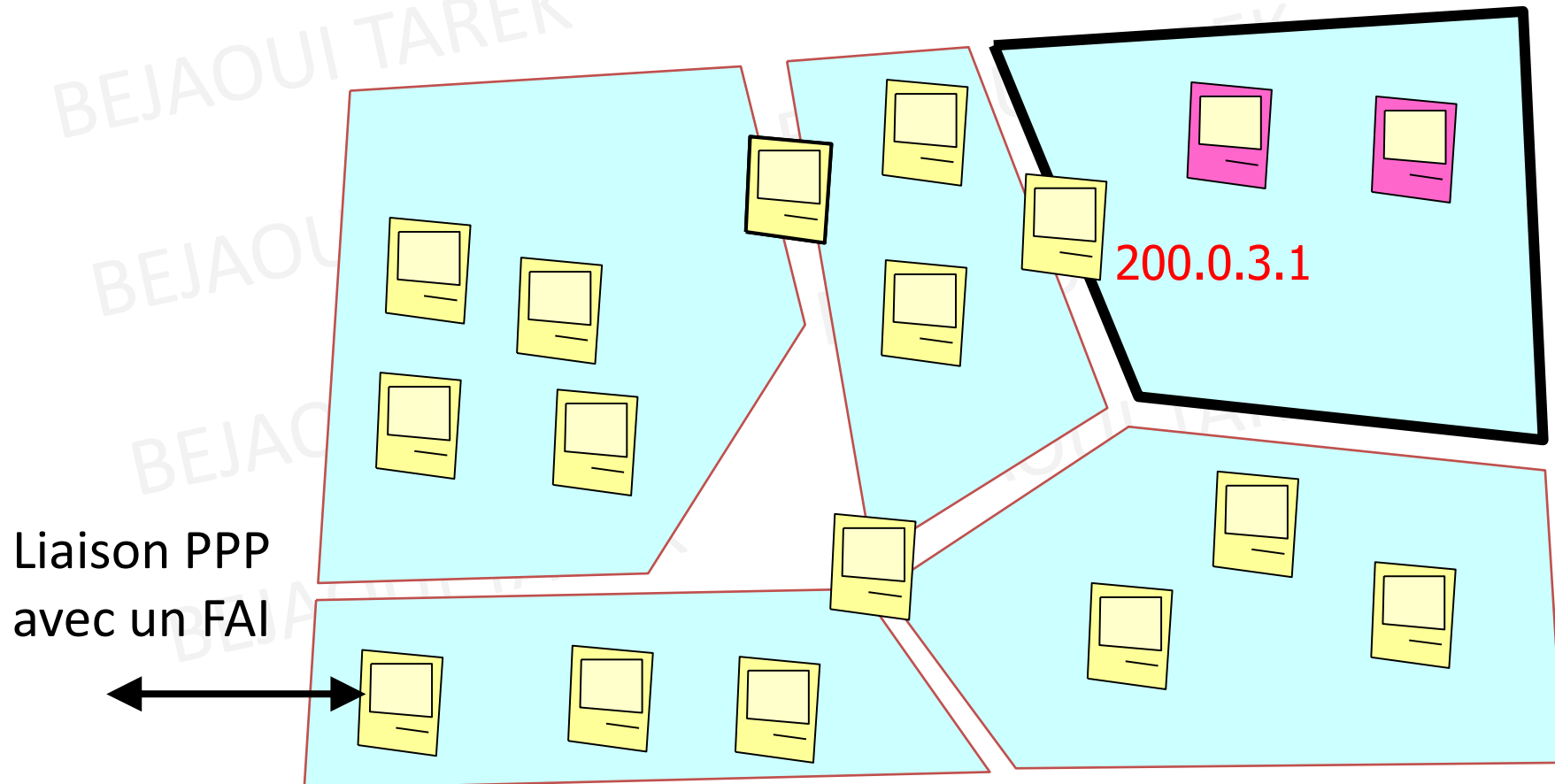
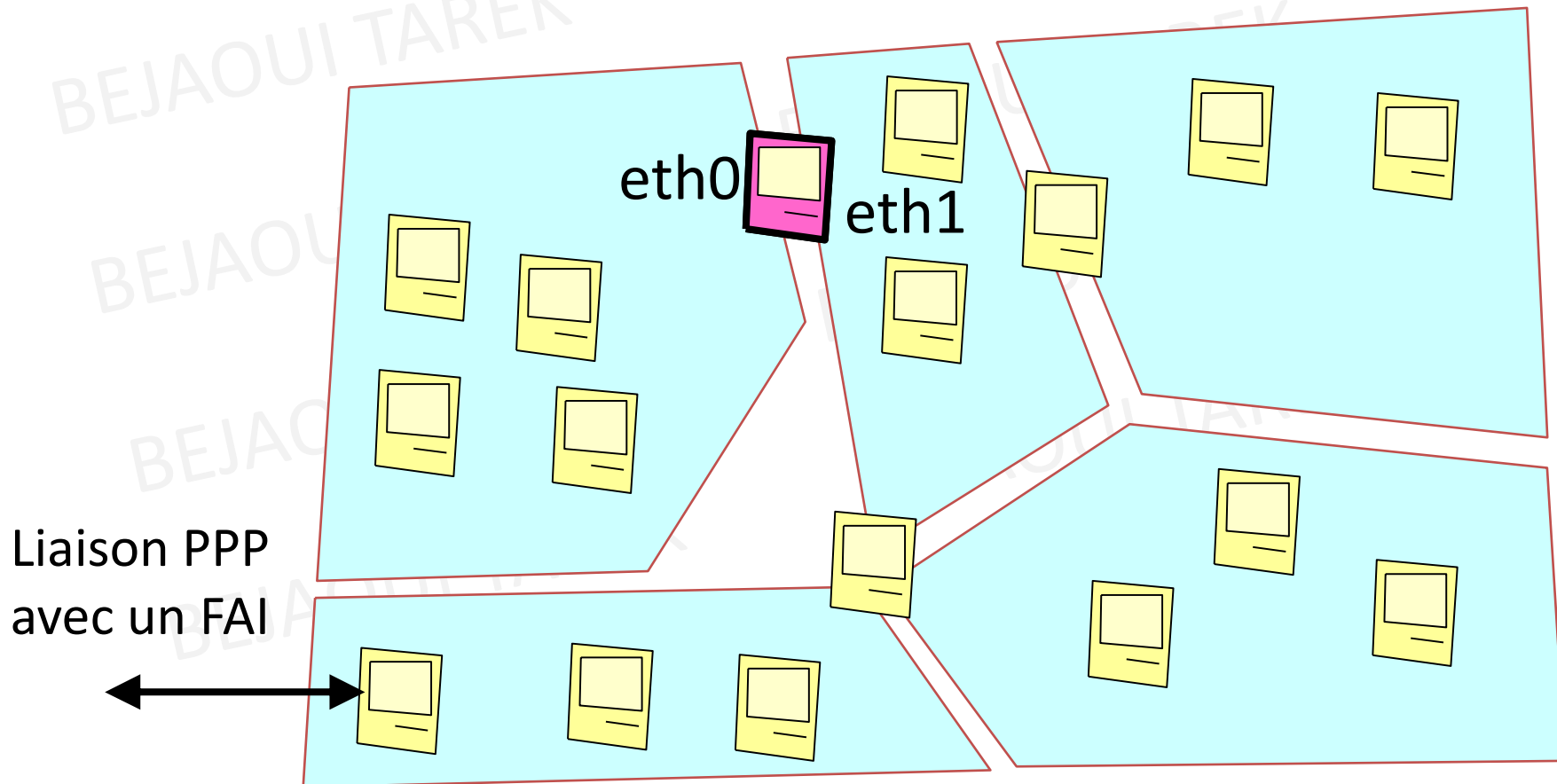
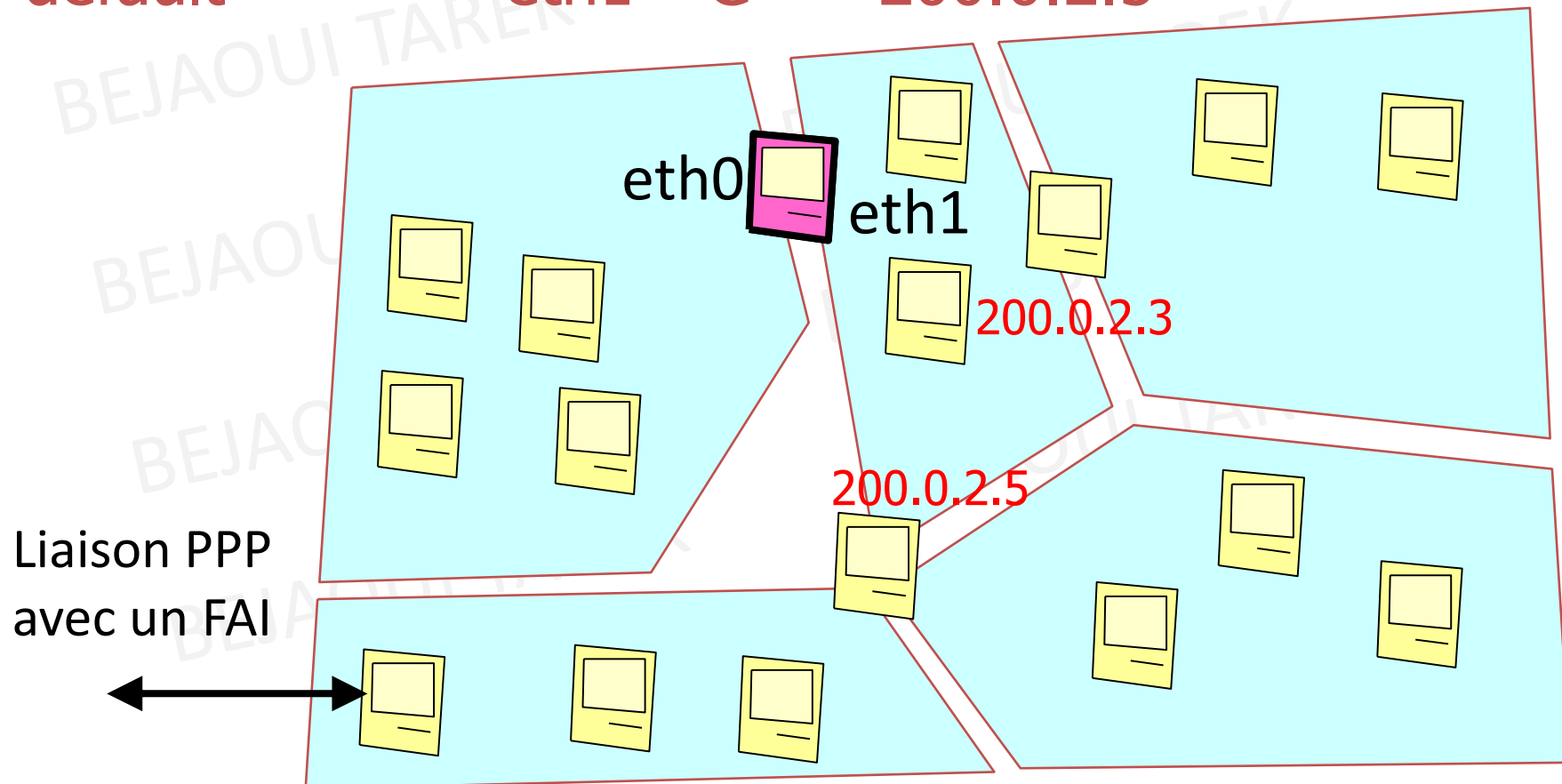


Table de routage d'un routeur

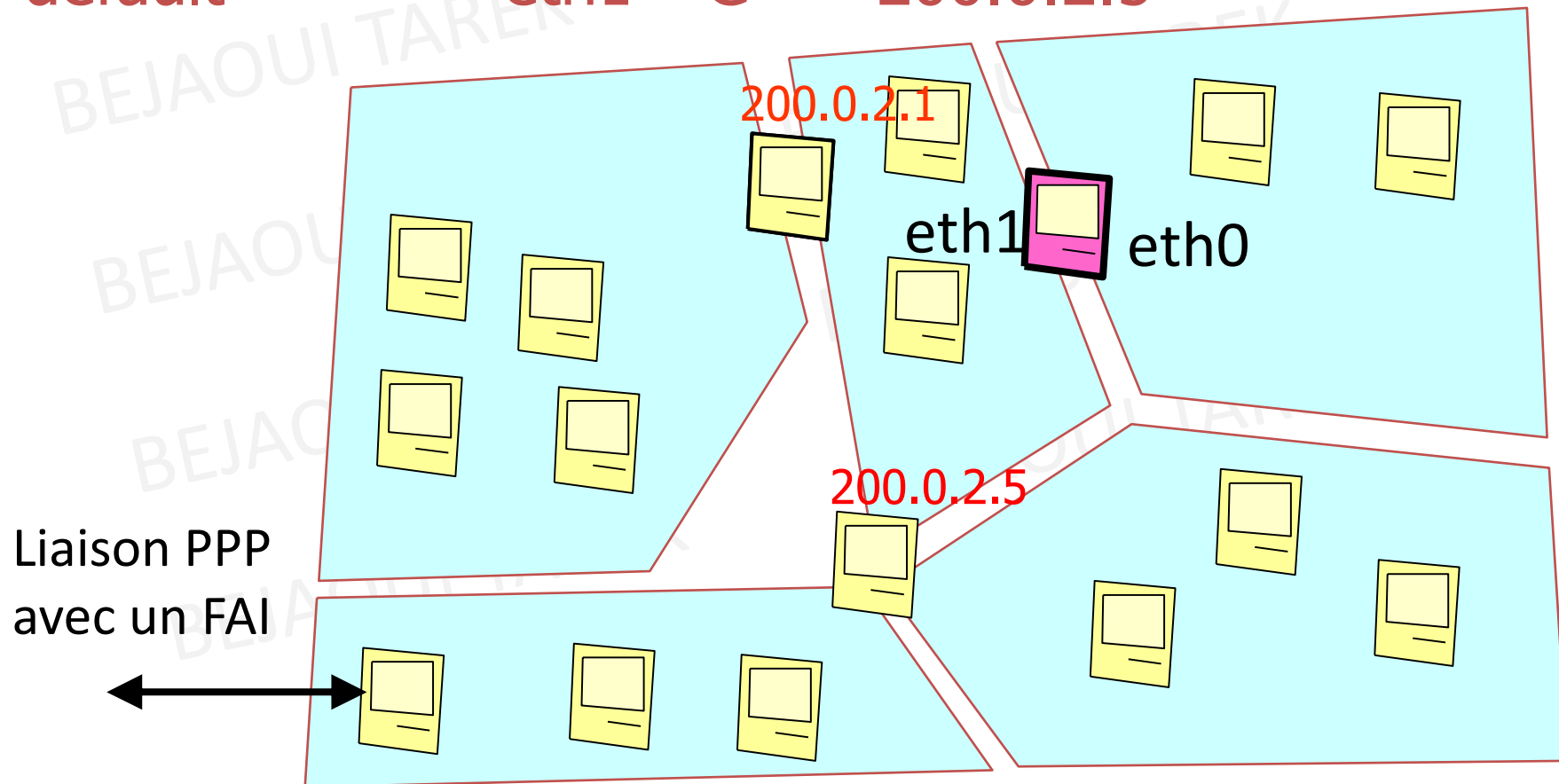
Etape 1 : « trouver » le nom des interfaces du routeur



127/8	lo	D	Table d'un routeur	
200.0.1.0/24	eth0	D		
200.0.2.0/24	eth1	D		
200.0.3.0/24	eth1	G		
default	eth1	G		
			200.0.2.3	
			200.0.2.5	



127/8	lo	D	Table d'un routeur
200.0.3.0/24	eth0	D	
200.0.2.0/24	eth1	D	
200.0.1.0/24	eth1	G	
default	eth1	G	
			200.0.2.1
			200.0.2.5



Maintenance des tables de routage

- Chaque machine a une et une seule table de routage
- Tables de routage sont gérées manuellement ou automatiquement



Les tables de routage des routeurs peuvent être très longues



Routage par défaut

- Masquer les informations et conserver les tables de routage de petite taille
- Cette technique consiste à associer plusieurs entrées à un cas par défaut :
 - Le logiciel IP recherche l'identificateur du réseau dans la table de routage
 - Si aucune route n'apparaît dans la table, les procédures de routage envoient le datagramme à un **routeur par défaut**



Routage d'ordinateur à ordinateur

- Permettre aux administrateurs de définir des routes d'ordinateur à ordinateur
- Contrôler le réseau et sécuriser les accès



Procédure de routage (1)

Route_datagramme_IP (datagramme, table de routage)

Extraire l'adresse IP de destination (D) du datagramme

Calculer l'identificateur du réseau de destination, N

Si N correspond à une adresse de réseau directement accessible **Alors**
envoyer le datagramme vers la destination D sur le réseau

- Faire la résolution de l'adresse D en une adresse physique
- Encapsuler le datagramme
- Transmettre la trame

Sinon

Si la table de routage indique que D correspond à un routage d'ordinateur à ordinateur **Alors**

Transmettre le datagramme vers le saut suivant précisé dans la table de routage

Sinon

Si la table de routage contient une route pour le réseau N **Alors**

Transmettre le datagramme vers le saut suivant précisé dans la table de routage



Procédure de routage (2)

Sinon

S'il existe une route par défaut

Alors Transmettre le datagramme vers le routeur par défaut précisé dans la table de routage

Sinon

Déclarer une erreur de routage

Fin Si

Fin Si

Fin Si

Fin Si



Routage et acheminement

- Le **routage** correspond au choix des itinéraires à suivre
 - Se charger du remplissage et de la mise à jour de la table de routage
- L'**acheminement** représente le traitement réalisé lorsqu'un paquet arrive
 - Recevoir les paquets entrants et les diriger vers les lignes de sortie appropriées indiquées dans la table de routage



Politiques d'acheminement (1)

- **Déterministe :**

- Lorsqu'un message arrive dans un noeud, il n'y a pas le choix de la route
- Les tables de routage peuvent être **fixées à la configuration du réseau et mises à jour périodiquement par le centre de gestion**



Politiques d'acheminement (2)

- **Adaptative :**
 - Aucun chemin n'est **prédéterminé**
 - Le nœud assure la mise à jour de ses tables en fonction de sa connaissance de l'état du réseau



Politiques d'acheminement (3)

- **Mixte :**

- Le choix d'un chemin, adapté à l'état du réseau, est effectué au moment de l'établissement du lien entre les deux unités communicantes
- Tous les messages d'une même session empruntent le même chemin



Algorithmes de routage (1)

- L'algorithme de routage est la partie logiciel de la couche réseau qui est responsable du choix des lignes de sortie sur lesquelles sont envoyés les paquets entrants
- Les protocoles de routage permettent aux routeurs d'échanger des informations de routage (informations sur les routes connues)



Algorithmes de routage (2)

- Un algorithme de routage devrait afficher certaines caractéristiques :
 - **Exactitude**
 - **Simplicité**
 - **Équité**
 - **Optimisation du réseau**
 - **Robustesse**
 - **Stabilité**



Algorithmes de routage (3)

- Les protocoles de routage utilisent des **métriques** pour choisir le meilleur trajet
 - Une **métrique** est un nombre permettant de définir l'accessibilité d'une route par rapport aux autres menant à une même destination



Algorithmes de routage (4)

Deux catégories pour les algorithmes de routage :

- Algorithmes **non adaptatifs** :
 - Le choix d'une route donnée à utiliser est calculé par avance, **hors ligne**, et transmis à tous les routeurs lors de l'initialisation du réseau
 - Routage **statique** consiste à construire, dans chaque noeud, une table indiquant pour chaque destination l'adresse du noeud suivant



Routage Non-adaptatif

- Routage basé sur des algorithmes simples qui ne tiennent pas compte de l'environnement d'un réseau.
 - Routage statique :
 - chemin déterminés par avance pour chaque paire de stations
 - généralement route la plus courte
 - algorithme centralisée
 - Table de routage fixées à l'initialisation
 - Routage par inondation :
 - propagation des paquets vers tous les nœuds
 - algorithme décentralisée
 - pas de table de routage



Routage Non-adaptatif (2)

- Routage multichemin
 - choix parmi plusieurs chemins préétablis selon un nombre aléatoire
- Routage local :
 - se débarrasser rapidement du paquet en l'envoyant vers le premier lien libre.
 - Technique décentralisé du “Hot Potato”



Algorithmes de routage (5)

- Les algorithmes **adaptatifs** :
 - Modifier leurs décisions dynamiquement pour s'adapter aux changements de la topologie et du trafic
 - Se différencier entre eux par :
 - ✓ **Façon** dont ils obtiennent des informations lorsque les routes subissent des variations
 - ✓ **Type** de métrique qu'ils utilisent pour l'optimisation



Routage adaptatif

- Routage basé sur des algorithmes complexes qui prennent en considération l'environnement d'un réseau.
- Mise à jour périodique des tables de routage
 - Routage Centralisé :
 - chemins établis par un seul nœud d'un réseau
 - RCC : Centre de Contrôle du Routage
 - traite les décisions quant aux définitions des nouvelles tables de routage
 - collecte les informations de la part de tous les composants du réseau
 - utilise un algorithme déterminé pour concevoir les nouvelles tables
 - envoi des tables aux stations et nœuds du réseaux



Routage adaptatif (2)

- Routage distribué :
 - chemins déterminés par chaque nœud en fonction des informations locales ou reçues par ses nœuds voisins
 - Chaque nœud détermine la table de délais/temps de réponse pour chacune des files en sortie
 - nombre d'octets en attente dans la file et débit de l'interface
 - envoie de la table des délais aux voisins
 - surcharge des paquets de contrôle
 - problème de bouclage



Concepts du routage

- Afin de limiter la taille des tables de routage et le traitement associé:
 - Le routage IP est effectué de saut en saut («*next hop*») depuis la source jusqu'à la destination,
 - A chaque saut, il y a prise de décision autonome afin de sélectionner la route qui acheminera le datagramme (VS technologies point à point),
 - A chaque étape, un relais n'a qu'une connaissance partielle du routage
 - Le concept de route par défaut est au cœur du routage IP.



Protocoles de routage IP

- **Types de routage**
 - Statique
 - Dynamique
- **Classification des protocoles de routage (dynamiques)**
 - INTERNE
 - EXTERNE
 - A VECTEUR DISTANT (DISTANCE VECTOR)
 - A ETAT DE LIEN (LINK STATE)



Types de routage

Routage statique

Les informations sont mises à jour manuellement à chaque modification topologique de l'interréseau.

Routage dynamique

Les informations relatives à la route sont mises à jour automatiquement entre les routeurs.



Routage Statique :

Problèmes

Problèmes du routage statique

- Mise à jour manuelle de tous les équipements du réseau →
Maintenance de tables de routage à jour (en fonction d'un changement de topologie ou d'un événement : panne d'un routeur ou d'un lien physique, congestion)
- Echanges de ces tables avec les autres routeurs du réseau (routing updates)
- Une station ne peut atteindre que les réseaux qu'on lui indique par la commande route
- Boucles de routage,
- routages asymétriques
- Routages aberrants ...



Routage Statique :

Avantages

Avantages d'un routage statique

- connectivité any to any
- simplicité de configuration (pour les cas standards)
- évolutivité par rapport à la croissance du réseau
- Sécurité par masquage de certaines parties d'un inter-réseau
- Moins de surcharge par rapport au routage dynamique.



Routage Statique

Recommandations générales

- convient uniquement pour des sites de taille modeste
- généralement le routage est modifié après découverte du problème
- Stations, Routeurs d'extrémité => Routage statique
- Routeurs => Routage dynamique



Routage statique

- Algorithmes non-adaptifs, téléchargés dans chaque routeur à l'initialisation
- Plus court chemin
 - Choix de la métrique – constante, longueur physique, temps moyen d'attente et de transmission, capacité, trafic moyen
 - Dijkstra



Routage statique

- Inondation – un paquet est retransmis sur toutes les lignes de sortie
 - Avantage – robustesse
 - Problème – surcharge de travail, grand nombre de paquets
 - Compteur de sauts pour chaque paquet, numérotation, restriction au faisceau de lignes de sortie « vers » la destination
- Flot – temps moyen de traversée



Routage dynamique

Indispensable dès que la topologie devient complexe,

==> protocoles de routage dont :

- le but est de maintenir des informations associées aux routes de manière cohérente
- les protocoles de routage sont de natures différentes selon qu'ils :
 - traitent des informations de routage à l'intérieur d'un domaine de routage ,
 - relient plusieurs domaines de routage.



Routage dynamique :

Protocoles de routage intérieurs et extérieurs

- Intérieur : au sein d'un système autonome (RIP, RIP V2, OSPF, IGRP, EIGRP)
- Extérieur : entre systèmes autonomes (indépendants) (EGRP, **BGP 4**)

Les protocoles de routage intérieur:

- 2 types : Distance vector routing et Link state (OSPF, Integrated IS-IS)



Routage dynamique

1. Vecteur de distance

- Chaque nœud routeur dispose d'une table de routage : meilleure distance pour chaque destination, ligne de sortie
- Mise à jour périodique de la table, par échange d'information entre routeurs :
 - On suppose que les distances entre voisins sont connues, ou calculables localement
 - Les routeurs s'échangent ces valeurs
 - Localement, ils mettent à jour leurs tables, en prenant le meilleur parmi toutes les variantes
- Réaction rapide aux bonnes nouvelles
- Problème de la valeur infinie et convergence lente



Routage dynamique

2. Information d'état du lien

– Étapes :

- Découvrir les voisins
- Mesurer les temps d'accès, au moyen d'un paquet ECHO
- Construire un paquet avec toutes ces informations (et l'identité du routeur-émetteur) régulièrement ou après chaque changement important
- Envoyer ce paquet à tous les autres
- Calculer le plus court chemin vers les autres (Dijkstra)

– Métriques : temps d'acheminement (+ éventuellement temps d'attente)



Routage dynamique

- Envoi par inondation mais avec accusé de réception
 - Problème de cohérence de la topologie du réseau
 - Solution : numéro de séquence, incrémenté à chaque nouvelle émission d'un paquet d'information, et utilisé pour la comparaison lors de la transmission
 - Problèmes de pannes de routeurs, erreurs de transmission
 - Solution : âge, décrémenté toutes les unités de temps ; destruction lorsque l'âge atteint 0
 - Amélioration : lors de la transmission
 - Stockage dans un tampon
 - Si un deuxième arrive, comparaison
 - Âge prioritaire (+ ancien détruit)



Routage dynamique

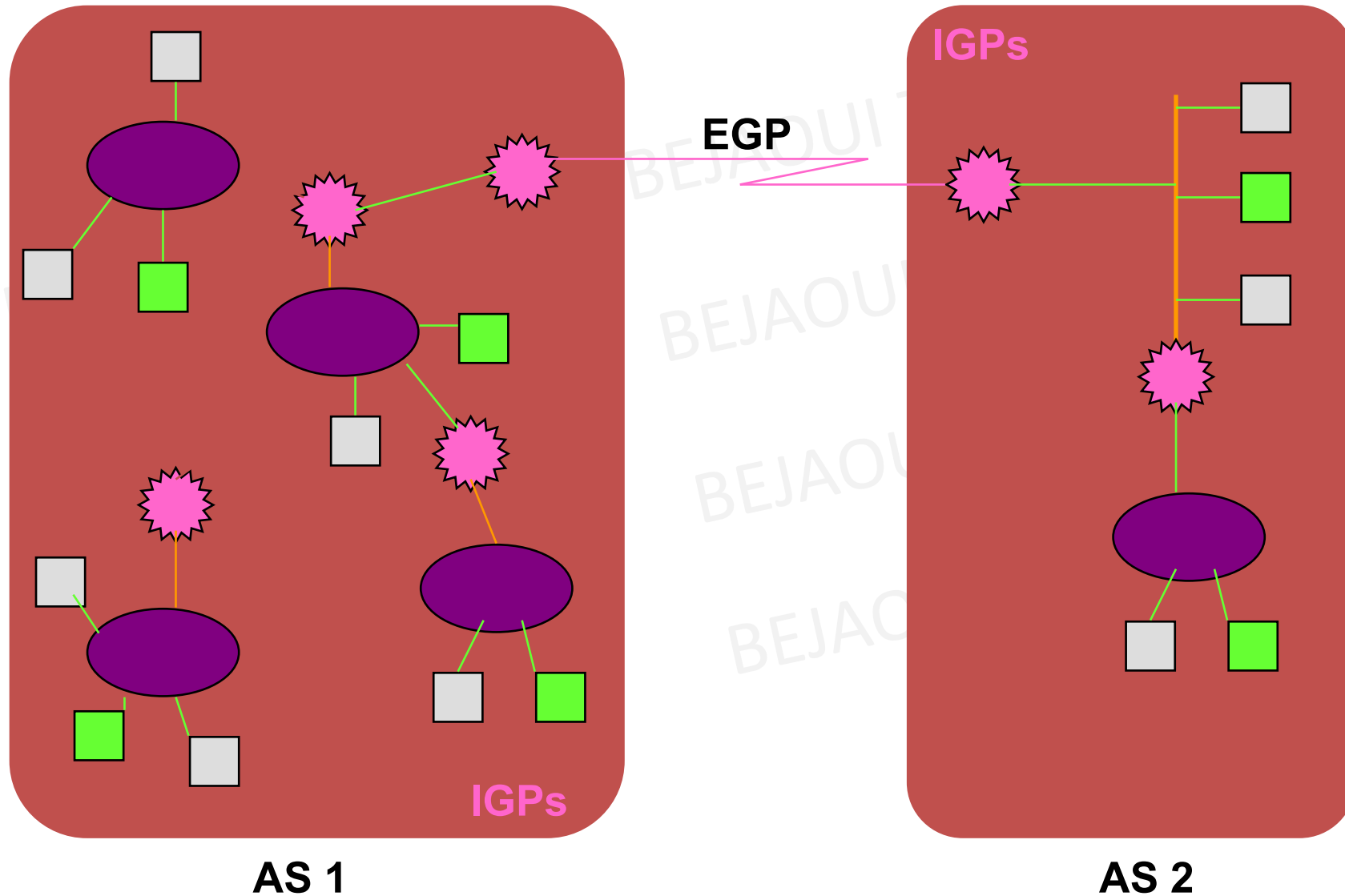
3. Hiérarchique : pour diminuer la complexité, pour les gros réseaux
4. Mobile : répertorier avec une domiciliation, authentification
5. Broadcast : diffusion, arbre recouvrant
6. Multicast : groupes destinataires



Le routage dans un système autonome

- La connexité d'un AS implique que tous les routeurs de celui-ci soient interconnectés: 2 réseaux locaux d'une même société nécessitant un autre AS pour communiquer ne peuvent constituer un AS unique.
- La connexité implique que les routeurs d'un AS échangent les informations de routage:
 - un routeur dans un AS est dit «internal gateway»
 - le protocole de routage entre «internal gateways» est appelé «Exterior Gateway Protocol» Exemple : EGP.
 - Le protocole de routage à l'intérieur d'une «interior gateway» est appelé «Interior gateway Protocol»; Exemple de IGP's: RIP, OSPF, IGRP.

Autonomous System



Le routage dans un système autonome (suite)

- Les IGP's n'échangent que les tables de routage internes à l'AS, mais certains routeurs doivent d'autre part, dialoguer avec les «exterior gateways» pour découvrir les réseaux externes à l'AS.
- EGP (External Gateway Protocol) a pour fonction l'échange d'information sur la connectivité entre AS's.



Routage, algorithmes

- Chaque nœud du réseau est identifié au moyen d'une adresse
- Si deux nœuds ne résident pas sur le même réseau physique local, il faut aiguiller le cheminement de l'information de l'un vers l'autre
- Le routage consiste à décider sur quelle ligne de sortie on redirige les paquets entrants



Routage, algorithmes

- Les algorithmes doivent remplir des conditions d'exactitude, de simplicité, de robustesse (sans réinitialiser tous les routeurs en cas de changement de topologie, d'arrêt d'un routeur ...), de stabilité (converger vers une configuration stable en temps fini), de justice et d'optimalité (les deux étant contradictoire ...)
- Ils peuvent être statiques ou dynamiques



Algorithme de Routage

- Utilisent des critères de coût :
 - **coût de la liaison**
 - **débit demandé**
 - **délai de transit demandé**
 - **nombre de noeud à traverser**
 - **taux d'occupation des mémoires des noeuds de commutations**
 - **sécurité du transport demandé**
 - **etc ...**
- Routage non adaptatif / Routage Adaptatif

Les algorithmes de routage (1)



Deux classes d'algorithmes existent : les algorithmes *Vector-Distance* et les algorithmes à état de lien (*Link-State*).

Algorithmes Vector-Distance

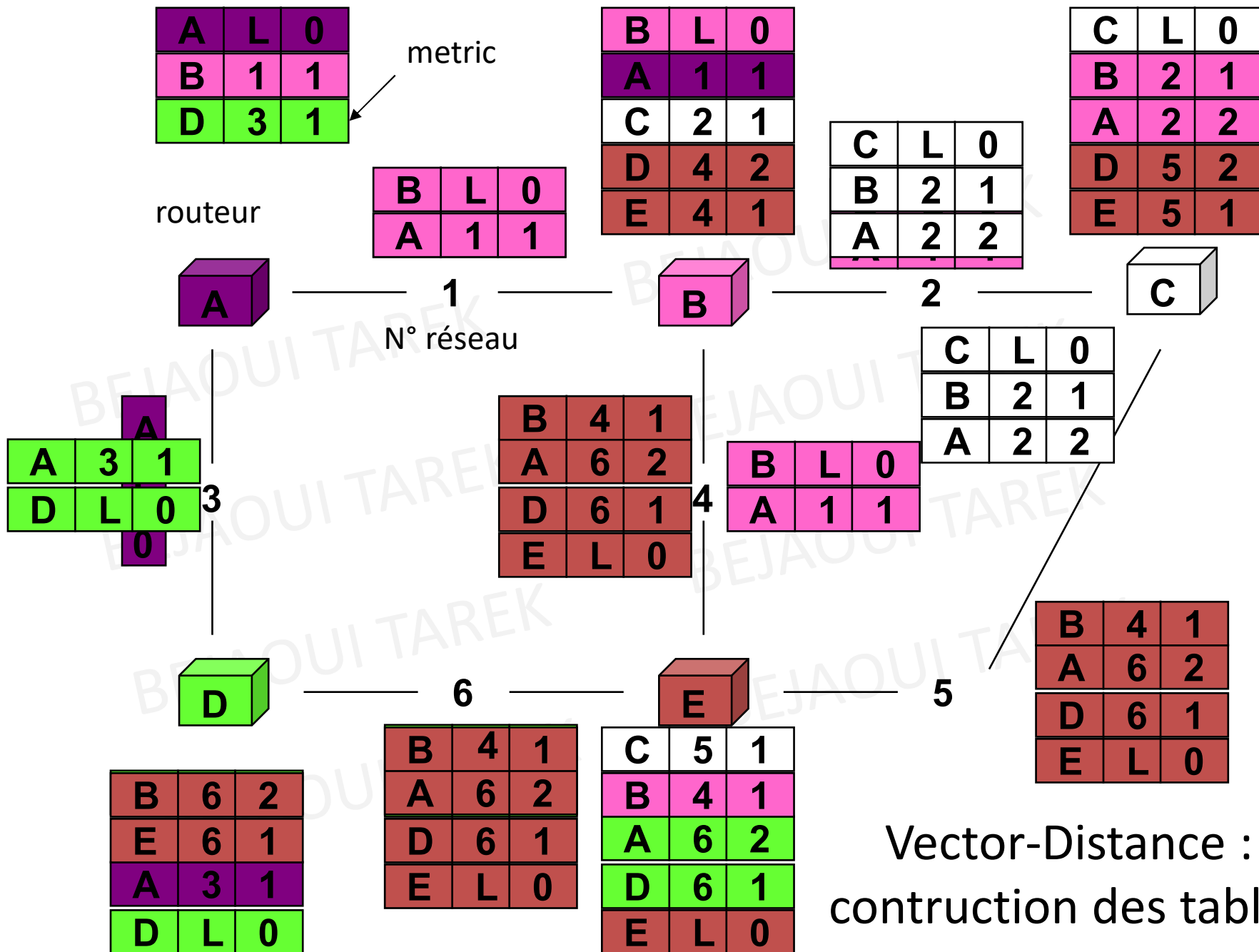
- Algorithme de Belman-Ford, calcul de routes distribué.
- Un routeur diffuse régulièrement à ses voisins les routes qu'il connaît.
- Une route est composée d'une adresse destination, d'une adresse de passerelle et d'une métrique indiquant la distance (nombre de sauts e.g.) pour atteindre la destination.
- Une passerelle qui reçoit ces informations compare les routes reçues avec ses propres routes connues et met à jour sa propre table de routage :
 - si une route reçue comprend un plus court chemin (e.g. nombre de prochains sauts +1 inférieur),
 - si une route reçue est inconnue.

Les algorithmes de routage (2)

Bellman-Ford

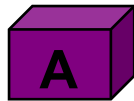
Chaque routeur :

- calcule une métrique (distance) pour chaque segment auquel il est directement connecté
- transmet périodiquement (et à chaque changement) à ses seuls voisins les informations de routage dont il dispose
- détermine quel routeur voisin offre la métrique la plus faible (donc la meilleure) pour chacune des destinations connues (à atteindre).



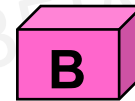
Vector-Distance :
contruction des tables

A	L	0
B	1	1
D	3	1
C	1	2
E	1	2

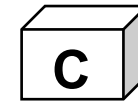


B	L	0
A	1	1
C	2	1
D	4	2
E	4	1

B	L	0
A	1	1
C	2	1
D	4	2
E	4	1



C	L	0
B	2	1
A	2	2
D	5	2
E	5	1



1
Convergence !

2

A	L	0
B	1	1
D	3	1
C	1	2
E	1	2

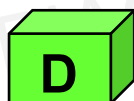
3

B	L	0
C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

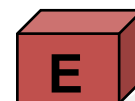
4

B	L	0
C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0



6



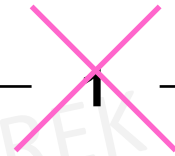
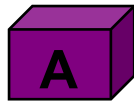
5

C	6	2
B	6	2
E	6	1
A	3	1
D	L	0

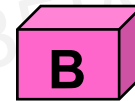
C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

Vector-Distance : la convergence

A	L	0
B	3	3
D	3	1
C	3	3
E	3	2

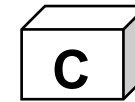


B	L	0
A	4	3
C	2	1
D	4	2
E	4	1



B	L	0
A	1	inf
C	2	1
D	4	2
E	4	1

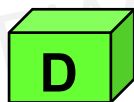
C	L	0
B	2	1
A	5	3
D	5	2
E	5	1



Reconstruction terminée

C	6	2
B	6	2
E	6	1
A	3	1
D	L	0

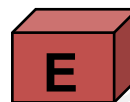
3



C	6	2
B	6	2
E	6	1
A	3	1
D	L	0

C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

6



C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

4

C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

5

C	5	1
B	4	1
A	6	2
D	6	1
E	L	0

Commande SH IP ROUTE

Distance administrative

Default Administrative Distances	
Connected	0
Static	1
EIGRP (internal)	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120

RIP (routing information protocol)

RIP (routing information protocol)

Période d'émission de la table : 30 sec. par défaut (update timer)

Contenu :

Adresse de destination du réseau, son adresse IP, métrique (exprimée en nombre de sauts qui le séparent du routeur de destination)

Mode passif : l'interface d'un routeur ne fait qu'écouter les messages de mise à jour (pour mettre à jour sa table) mais n'en transmet pas.

Commande: *passive interface S0*



RIP (routing information protocol)

Période d'émission de la table : 30 sec. par défaut (update timer)

Contenu :

Adresse de destination du réseau, son adresse IP, métrique (exprimée en nombre de sauts qui le séparent du routeur de destination)

Mode passif : l'interface d'un routeur ne fait qu'écouter les messages de mise à jour (pour mettre à jour sa table) mais n'en transmet pas.

Commande: *passive interface S0*

Temporisations :

Un routeur considère comme indisponible un routeur (ou une route) qui n'est plus annoncé depuis 180 s (invalid timer).

Le routeur signale alors à ses voisins l'indisponibilité constatée.

Après 270 s, il efface cette destination de sa table de routage (flush timer)

Nombre maximum de sauts = 15

Métrique = 16 signifie alors inaccessibilité de la destination



Flots continus, circuits virtuels

- À travers chaque routeur, pour une connexion établie, on initialise un chemin, que tous les paquets de la connexion suivent
- Les paquets comportent alors comme identificateur le numéro du circuit virtuel ainsi établi

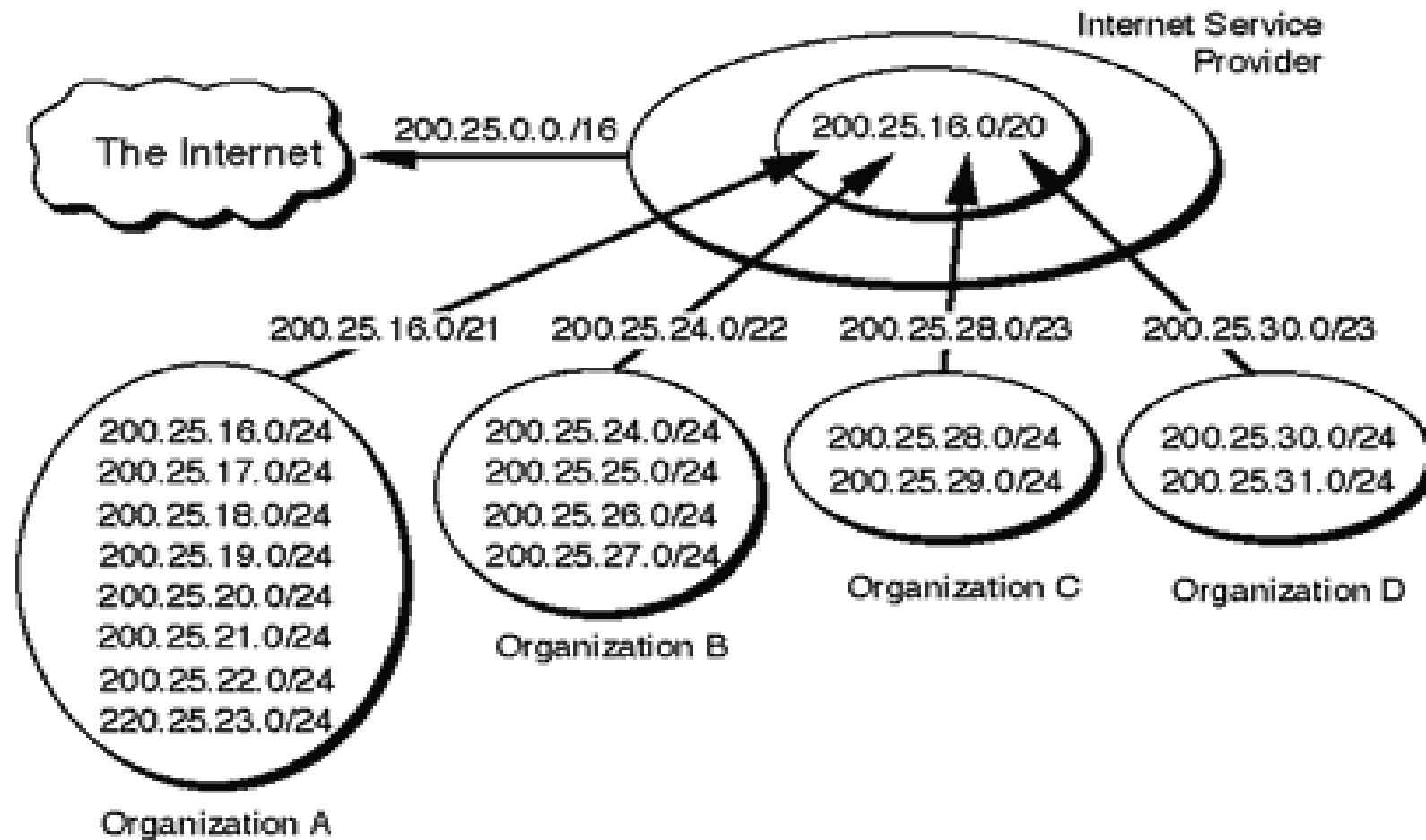
Maintenance des tables de routage

- Chaque machine a une et une seule table de routage
- Tables de routage sont gérées manuellement ou automatiquement



Les tables de routage des routeurs peuvent être très longues

Réduction des tables de routage





RIP : les contraintes

- inconvénients des techniques RIP:
 - taille des informations de routage (proportionnelle au nombre de routeurs)
 - Métrique difficilement utilisable, limitée à 16,
 - Bouclage, éventuellement à l'infini,
 - Pas de chemins multiples
- Amélioration apportée par RIP Version 2
 - Gestion de sous-réseaux et super-réseaux (Cf CIDR)
 - utilisation de Multicast IP (224.0.0.9) au lieu de Broadcast IP
- Problèmes résiduels importants
 - Boucles,
 - Métriques non appropriées aux réseaux modernes, Pas de chemins multiples

RIP (routing information protocol)

Comment le mettre en place :

#Router RIP

network A.B.C.D (déclarer tous les réseaux auxquels il est directement connecté)

Il existe un RIP V2 (incluant subnetting, métrique > 15) mais temps de convergence reste long.

Mieux vaut passer à EIGRP ou OSPF...

RIP (routing information protocol)

Problème 1 : Risque de boucle

Split horizon algorithm

Poison reverse update

Problème 2 : Temps de convergence (augmente avec la complexité du réseau)

Triggered update : limites ...

Hold on timer : augmentation du temps de convergence et donc de l'indisponibilité éventuelle du réseau ...

Limites de RIP V1 : métrique à 15, temps de convergence (> 5 mn), masque de sous-réseaux, bande passante occupée (toute la table est transférée).

IGRP (Interior Gateway routing protocol)

Avantages : pas de boucle (...), temps de convergence faible, peu d'overhead en bande passante, partage de charge entre routes parallèles, métrique adaptée, algorithme (de type poisoning) plus sophistiqué que ceux décrits plus haut pour RIP

Métrique fonction de

B = bande passante brute $\times$ (1 –taux d'occupation du canal)
(importance de la commande bandwidth)

D = délai de transmission

R = fiabilité

La valeur de la métrique est donnée par la commande `sh ip route`.

IGRP (Interior Gateway routing protocol)

Configuration d'IGRP :

Router IGRP 12 (12 = ID du système autonome)

Network A.B.C.D (réseaux directement connectés au routeur)

Timers basic 15 45 0 60 (15 = update timer, 45 = invalid timer, 0 = hold-on timer, 60 = flush timer)

Metric maximum-hop 50 (pour éviter une boucle sans remettre en cause la connectivité souhaitée au sein du réseau)

Note : Hold-on timer = 0 possible grâce aux améliorations de l'algorithme d'empoisonnement.

Donc temps de convergence faible

IGRP (Interior Gateway routing protocol) (enhanced ...)

Introduction de notions Link state

Paquets Hello échangés avec les voisins (découverte des voisins, détermination de leur état)

Mise à jour partielle des tables de routage (moindre bande passante utilisée)

Pré-calcul de la route de secours (réduction du temps de convergence)

Gère d'autre protocole que IP (IPX et appletalk)

OSPF Open shortest path first (Link State)

Un routeur détermine quels routeurs sont en connexion directe avec lui

Notion de coût (similaire à celle de métrique) calculée (par défaut) en fonction de l'inverse de la bande passante

Pas de mise à jour des tables complètes

Hierarchie : zone backbone : aire 0

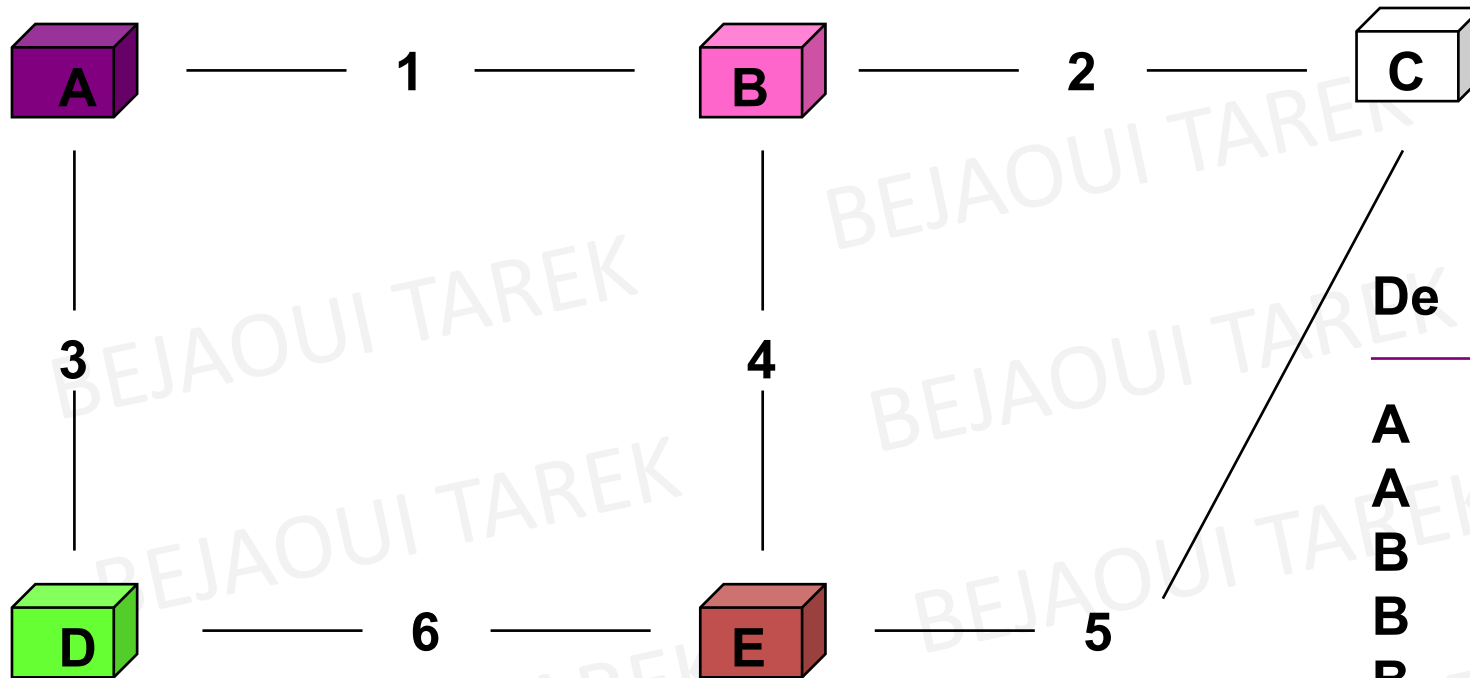
Chaque routeur a une connaissance complète de son aire (calcul de la route optimale vers chaque destination)

Et de la façon d'accéder à l'aire 0



- Basés sur la technique *Shortest Path First (SPF)* :
 - les passerelles maintiennent une carte complète du réseau et calculent les meilleurs chemins localement en utilisant cette topologie.
 - les passerelles ne communiquent pas la liste de toutes les destinations connues (cf *Vector-Distance*),
 - une passerelle basée sur l'algorithme SPF, teste périodiquement l'état des liens qui la relie à ses routeurs voisins, puis diffuse périodiquement ces états (*Link-State*) à toutes les autres passerelles du domaine.
 - Les messages diffusés ne spécifient pas des routes mais simplement l'état (up, down) entre deux passerelles.
 - Lorsque un message parvient à une passerelle, celle-ci met à jour la carte de liens et recalcule localement pour chaque lien modifié, la nouvelle route selon l'algorithme de Dijkstra *shortest path algorithm* qui détermine le plus court chemin pour toutes les destinations à partir d'une même source.

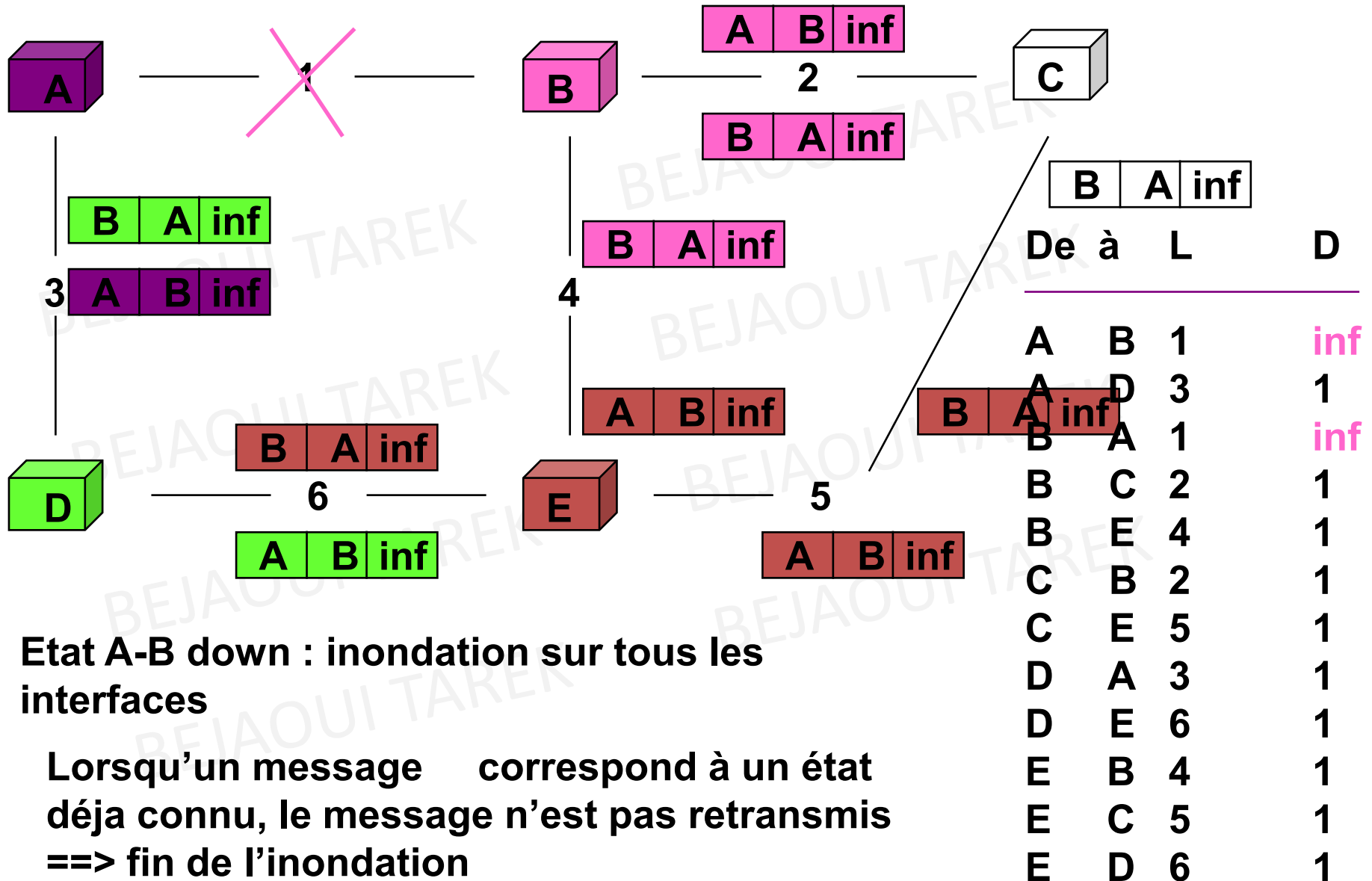
Algorithme *Link State*: principes



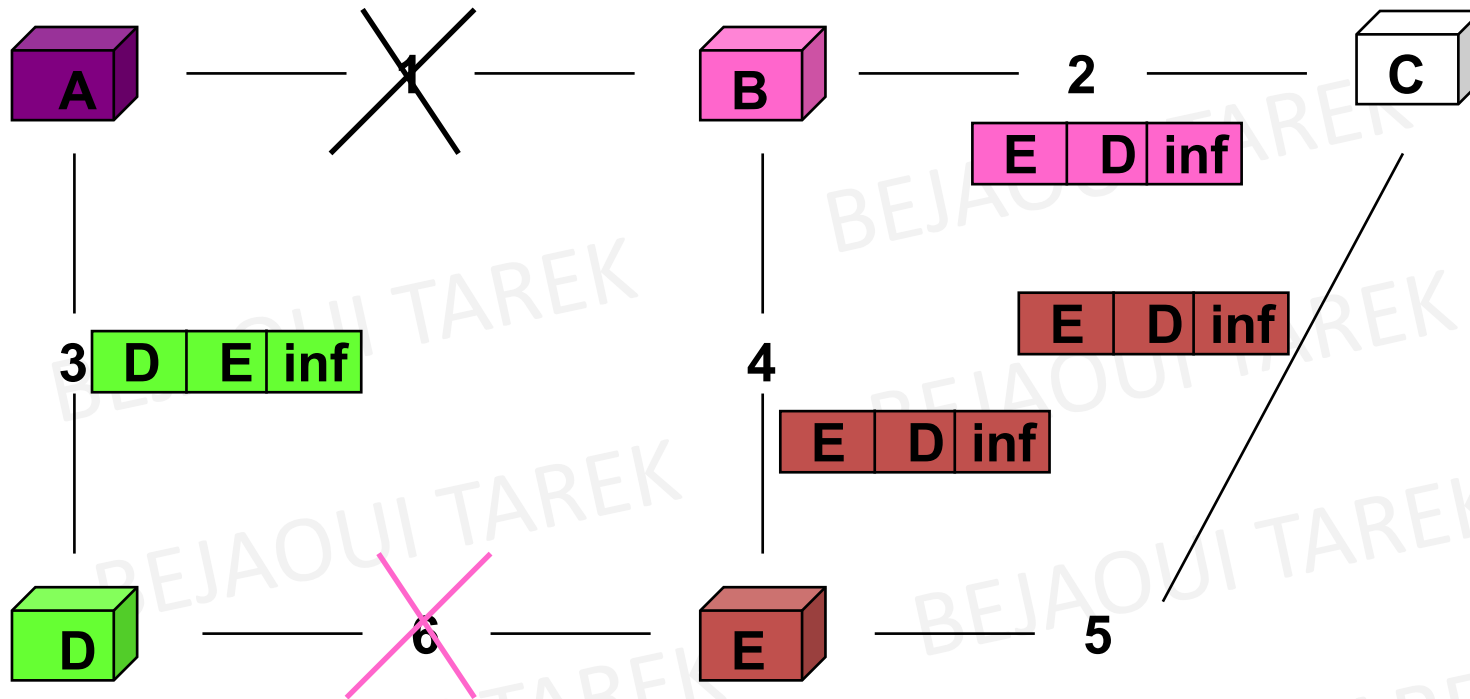
Tous les noeuds ont la même base de donnée

De à		Link	D
A	B	1	1
A	D	3	1
B	A	1	1
B	C	2	1
B	E	4	1
C	B	2	1
C	E	5	1
D	A	3	1
D	E	6	1
E	B	4	1
E	C	5	1
E	D	6	1

Algorithme *Link State*: la rupture



Algorithme *Link State*



Le calcul SPF corrige les incohérences :

A et D noteront que B, C, E sont inaccessibles;

B,C,E noteront que A et D sont inaccessibles.

Algorithme *link state*



- Cohérence des bases
 - les copies de chaque noeud doivent être identiques aux périodes de transition près.
 - on améliore le processus en protégeant les bases contre les erreurs :
 - procédure d'inondation **avec acquittement**,
 - enregistrements de la base protégés par checksum,
 - enregistrements de la base soumis à temporisation et supprimés si non rafraîchis à temps.
 - messages pouvant être authentifiés.



Algorithme *Link State* (suite)

- Avantage des algorithmes Link State :
 - convergence rapide sans boucle,
 - possibilités de chemins multiples,
 - métrique dépendant du débit (comparer avec RIP)
 - chaque passerelle calcule ses routes indépendamment des autres.

Configuration

Router ospf 50

Network A.B.C.D wildcard mask area 0

Options :

Ip ospf retransmit-interval : temps entre 2 messages de mise à jour (Link state Advertisements)

No ospf auto-cost-determination (les coûts sont alors à déterminer manuellement par l'exploitant)

Attention aux liens série (considérés comme T1 en bandwidth) ...

Protocoles de routage extérieur

Cas d'application : Internet, réseau de grandes sociétés multi-nationales

Entre système autonomes (supposé pas trop nombreux), le routage statique est envisageable (et permet un contrôle des accès).

Pour @ ; impossible

EGP puis BGP (différentes versions) : actuellement dans sa version 4

EGP : Protocole de routage extérieur

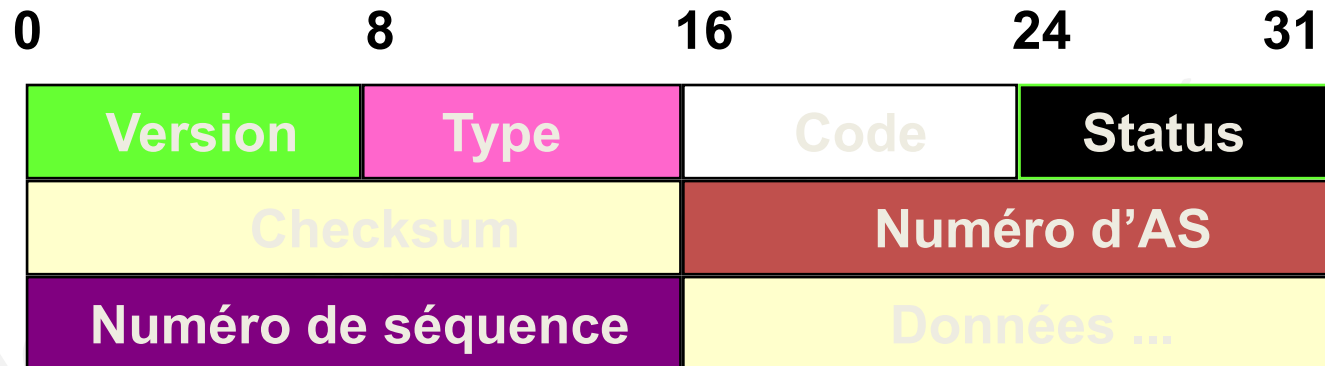


- EGP (*Exterior Gateway Protocol*): utilisé pour échanger les informations de routage relatives aux systèmes autonomes.
- EGP: essentiel dans la connectivité Internet (Core, inter-provider , ...)
- EGP : RFC827

EGP a trois fonctions principales :

- support d'un mécanisme d'acquisition permettant à une passerelle de requérir, auprès d'une autre passerelle, qu'elle échange ses informations de routage,
- test continu de l'accessibilité des passerelles EGP voisines,
- échange de messages d'information de routage avec les passerelles EGP voisines.

EGP : format des messages



- VERSION : version du protocole EGP pour contrôle de cohérence,
- TYPE : identifie le type de message
- CODE : sous-type des différents messages
- STATUS : erreurs propres aux messages
- CHECKSUM
- Numéro d'AS : numéro de système autonome de passerelle émettrice,
- SEQUENCE NUMBER : numéro que l'émetteur utilise afin de synchroniser les messages et les réponses.



- Avant d'échanger des informations de routage, les routeurs adjacents, doivent devenir «voisins».
- Devenir «voisins» ==> procédure d'acquisition (synchronis. bilatérale)
- La passerelle adressée est spécifiée (configurée) par les organisations responsables des systèmes autonomes correspondant.
- En plus de l'en-tête commune, les messages d'acquisitions comprennent deux champs de 16 bits chacun :
 - HELLO INTERVAL : intervalle de temps à utiliser pour tester l'accessibilité de la passerelle,
 - POLL INTERVAL : fréquence maximale (N/s) de mise à jour du routage;
- Valeur du champs CODE :
 - 0 : Acquisition Request,
 - 1 : Acquisition Confirm, ...

- EGP met en oeuvre des mécanismes d'accessibilité des réseaux ==> échanger les listes de réseaux accessibles via chacun des voisins. 
- La procédure consiste en des interrogations à intervalle régulier de liste auprès de son voisin.
- Les messages échangés dans ce processus :
 - HELLO et I-HEARD-YOU (I-H-U) pour le contrôle d'accessibilité des passerelles voisines,
 - POLL Request sollicitant des réponses (Routing Update) sur les informations de routage.
 - Les messages HELLO et I-H-U sont composées uniquement de l'en-tête commune, CODE = 0 pour le message HELLO et 1 pour le message I-H-U.
 - POLL Request et Routing Update comprennent, en plus de l'en-tête commune, le champ IP SOURCE NETWORK (32 bits) qui spécifie un réseau commun aux deux systèmes autonomes sur lesquelles sont reliées les deux passerelles

EGP : messages «Routing Update»



- Une passerelle extérieure émet des requêtes de mise à jour d'information de routage (*routing update*), afin d'informer les passerelles voisines appartenant à d'autres systèmes autonomes.

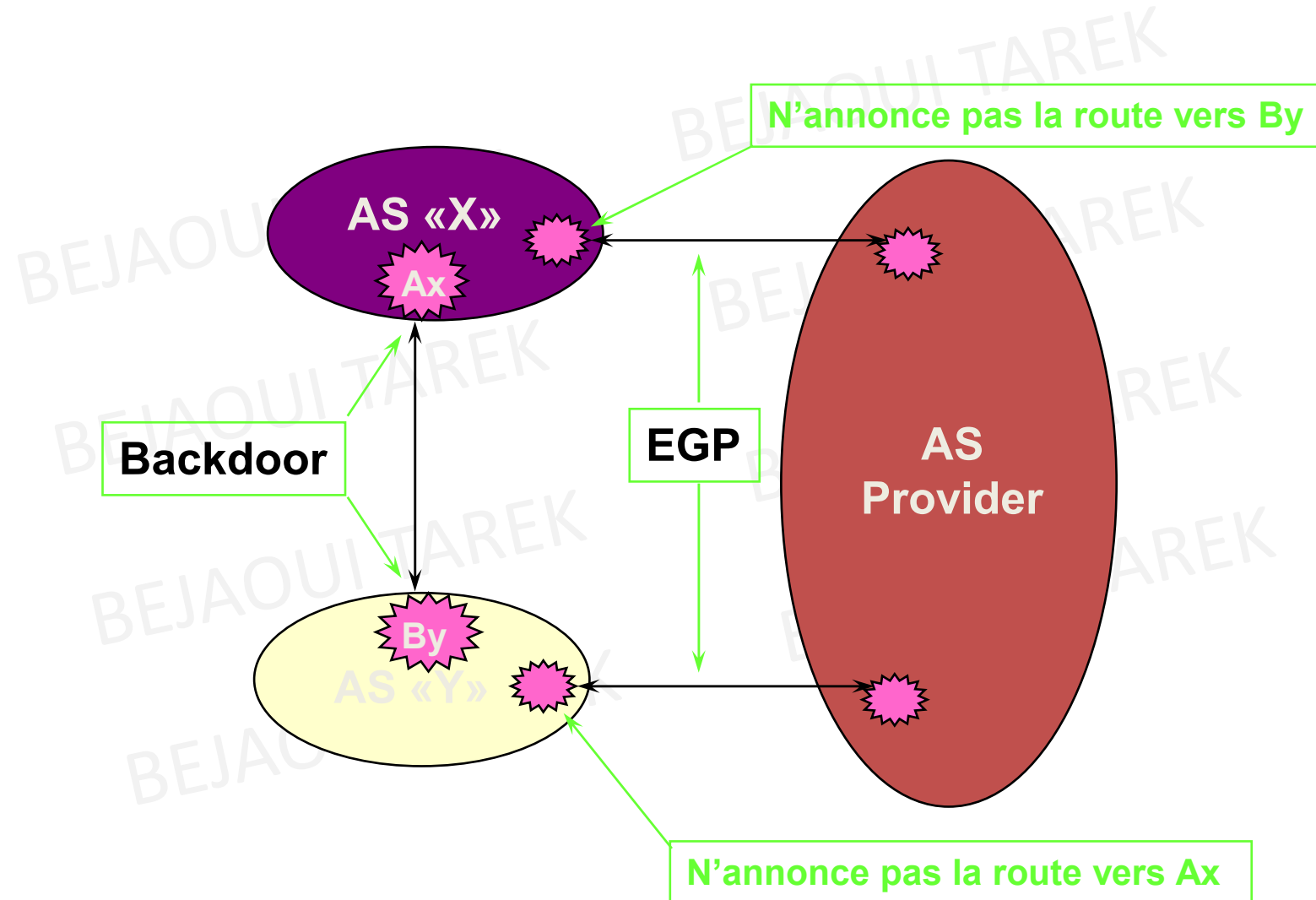
Les messages de mises à jour sont composés de deux types de listes:

- une liste interne contenant tout ou une partie des passerelles du système autonome et les réseaux accessibles à travers elles,
- une liste externe structurée de la même manière mais identifiant des destinations extérieures au système autonome. Seules les passerelles appartenant à l'interconnexion peuvent propager ces informations.



EGP : annonces des routes

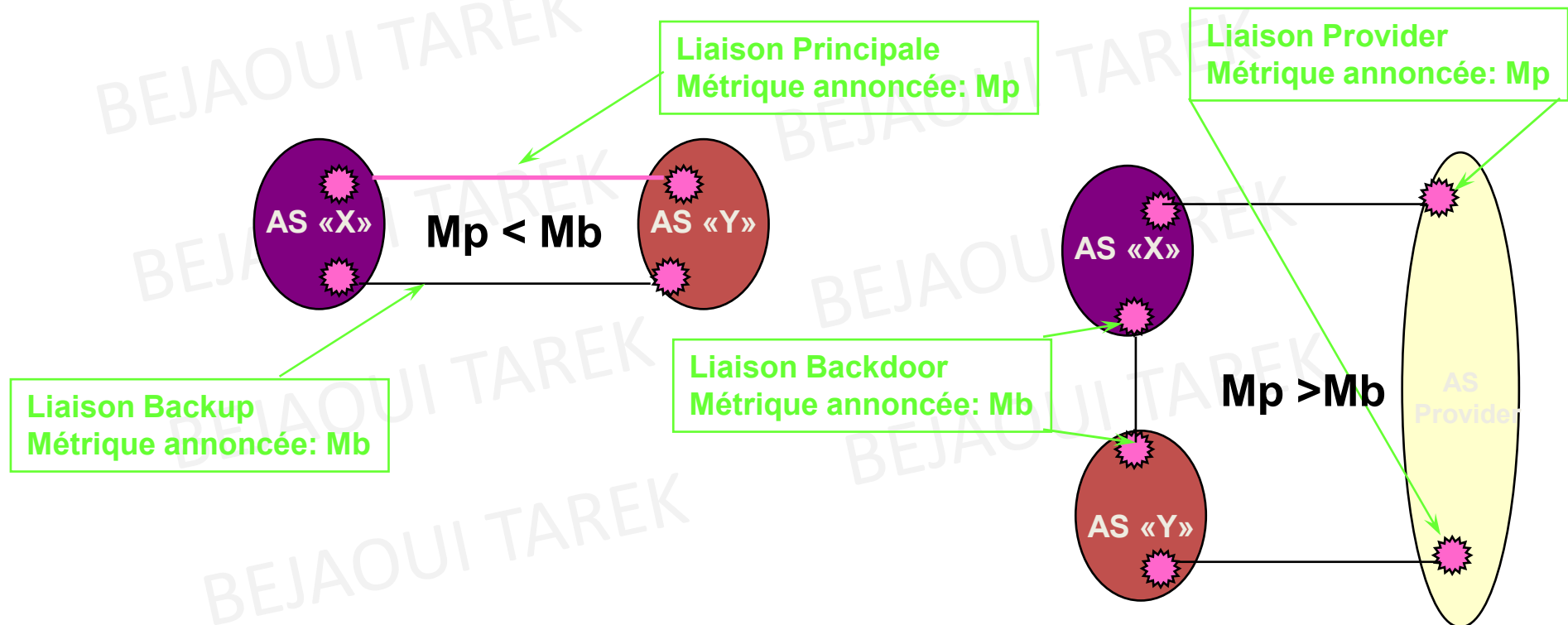
- EGP peut ne pas annoncer les routes auxquelles il est relié.



EGP : les métriques



- EGP annonce des métriques comprises entre 0 et 255 (inaccessible); le mécanisme permet de couvrir les besoins inhérents aux IGP et les liaisons multiples entre AS



Métrique annoncée par le provider généralement assez grande (128) pour laisser fonctionner le backdoor



EGP : les contraintes

- Conçu pour un réseau hiérarchique de type Backbone
- Aujourd'hui le réseau est maillé et des boucles apparaissent
 - Les routes multiples ne sont pas prises en compte
- La distance est utilisée uniquement comme évaluation d'accessibilité
- Taille des messages importante ==> fragmentation de datagrammes

Successeur d'EGP : BGP développé fin des années 80 qui permet :

- des mises à jour incrémentales (vs tailles des messages),**
- la conversion avec IGP's des informations de routage (==>cohérence entre métriques de routeurs intérieurs et extérieurs)**
- évite les boucles dans une topologie maillée**

Configuration

Router bgp 3 (3 = n° AS)

Network A.B.C.D

Neighbor E.F.G.H remote-as 4 (4 = n° autre AS) :

E.F.G.H adresse du routeur d'un AS différent avec lequel il peut échanger des informations de routage)

Mécanisme de redistribution

Coexistence de plusieurs protocoles de routage au sein d'un réseau, notamment pour des routeurs frontières entre 2 domaines de routage.

Problème : comment traduire les métriques

Exemple entre RIP et EIGRP (un routeur entre un domaine RIP et un domaine EIGRP)

```
router eigrp 1
network 131.108.0.0
redistribute rip
default-metric 10000 100 255 1 1500
```


Metric	Value
Bandwidth	10000 for Ethernet. Minimum bandwidth of the route may be 9.6.
Delay	100 x 10 microseconds = 1 ms.
Reliability	255 for 100% reliability.
Load	Effective bandwidth of the route expressed as a number from 0 to 255 (255 is 100 percent loading).
MTU	Minimum MTU of the router, usually equals the Ethernet bandwidth.

router rip

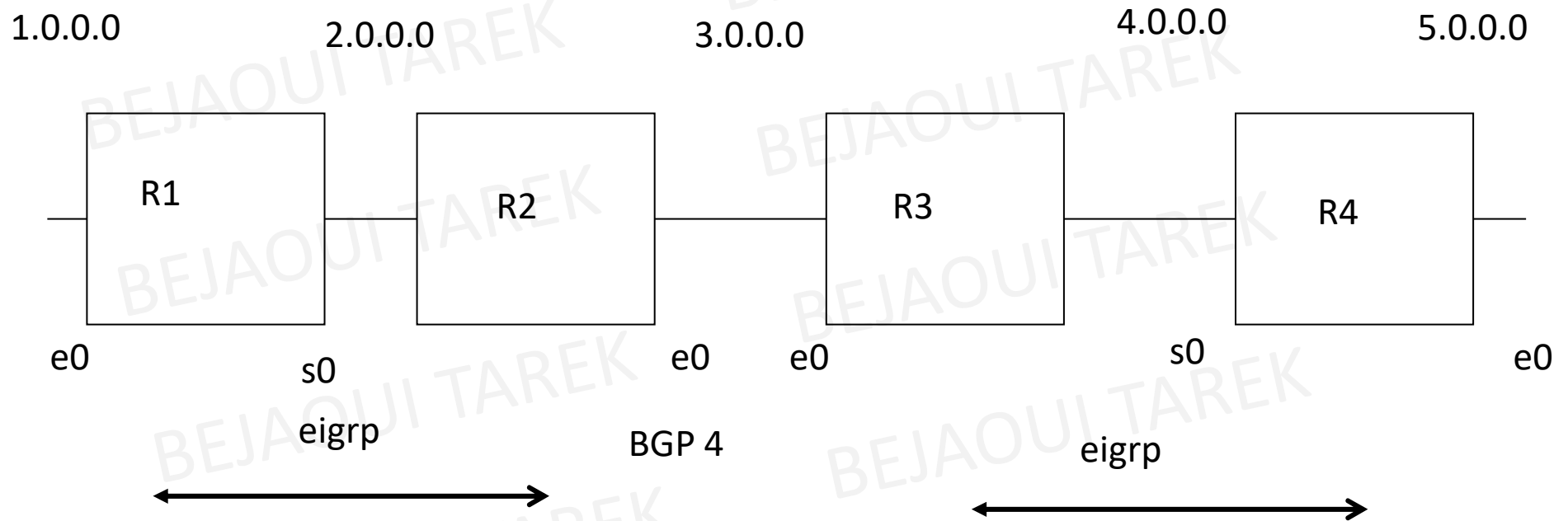
network 131.109.0.0

redistribute eigrp 1

default-metric 1

Redistribute static : option qui permet d'inclure dans les échanges entre domaines différents des routes statiques (Ip route ...) définies d'un côté.

Exemple BGP



R1

```
hostname r1
```

```
!
```

```
interface Ethernet0
```

```
ip address 1.1.1.1 255.0.0.0
```

```
!
```

```
interface Serial0
```

```
ip address 2.1.1.2 255.0.0.0
```

```
!
```

```
router eigrp 65534
```

```
network 1.0.0.0
```

```
network 2.0.0.0
```

R2

hostname r2

interface Ethernet0

ip address 3.1.1.1 255.0.0.0

!

interface Serial0

ip address 2.1.1.1 255.0.0.0

clockrate 2000000

!

router eigrp 65534

redistribute bgp 65534

network 2.0.0.0

network 3.0.0.0

default-metric 1000 100 250 100 1500

!

router bgp 65534

network 2.0.0.0

network 3.0.0.0

redistribute eigrp 65534

neighbor 3.1.1.2 remote-as 65535

!

ip classless

hostname r3

interface FastEthernet0

ip address 3.1.1.2 255.0.0.0

!

interface Serial0

ip address 4.1.1.2 255.0.0.0

clockrate 2000000

!

router eigrp 65535

redistribute bgp 65535

network 3.0.0.0

network 4.0.0.0

default-metric 1000 100 250 100 1500

auto-summary

!

router bgp 65535

network 4.0.0.0

redistribute eigrp 65535

neighbor 3.1.1.1 remote-as 65534

R4

hostname r4

interface Ethernet0

ip address 5.1.1.1 255.0.0.0

!

interface Serial0

ip address 4.1.1.1 255.0.0.0

!

router eigrp 65535

network 4.0.0.0

network 5.0.0.0

r4#

Il existe deux types complémentaires de BGP:

-E BGP (entre AS adjacents)

-I BGP (dans un AS de transit)