

La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
- ✓ Adressage et Format de paquets
- ✓ Les protocoles associés
- ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Le routage avec états des liaisons
- ✓ Le routage dans l'Internet

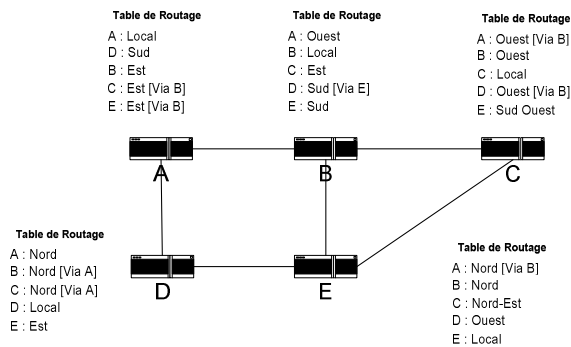
1

Routage

- Objectif principal de la couche réseau
 - Acheminer les paquets d'une source vers une destination
- Dans un réseau, comment trouver le chemin d'un point A à un point B ?
 - Algorithme de routage utilisé dans les éléments intermédiaires (routeurs) du réseau
 - Pour chaque paquet ou demande d'ouverture de circuits (virtuels) reçu, le nœud doit décider via quel interface de sortie le paquet ou la demande d'ouverture sera acheminée
 - Décision prise en générale sur la base d'une table de routage

2

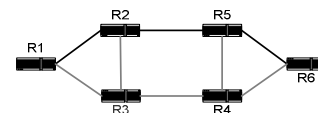
Routage : Exemple



3

Détermination de la route

- Principe d'optimalité
 - Si le routeur J se trouve sur le meilleur chemin de L à K, alors le meilleur chemin de J à K suit la même route que le meilleur chemin de L à K
 - Le routage ne repose que sur l'adresse de la destination
 - On peut donc trouver le meilleur chemin de façon incrémentale
 - Dans un réseau, l'ensemble des meilleurs chemins partants d'un routeur est un arbre dont la racine est ce routeur
 - Algorithme de routage ⇒ Construction d'un arbre de recouvrement minimum



4

Algorithme de routage

- Meilleur chemin dans un réseau ?
 - Plus court chemin [le moins de lignes à traverser] ←
 - Chemin avec le délai le plus court ←
 - Chemin avec le débit le plus élevé
 - En général, on caractérise chaque ligne par un nombre [métrique] dépendant du critère choisi
 - Le but de l'algorithme de routage est de trouver les chemins (entre chaque paire de nœuds) qui minimisent la somme des nombres
- Comment construire les tables de routage ?
 - **Routage statique**
 - **Routage dynamique**
 - Mécanismes distribués pour la construction des tables de routage dans les routeurs intermédiaires

5

Routage Statique

- Principe
 - Un ordinateur spécialisé (gestionnaire du réseau) calcule les tables de routage pour tous les routeurs
 - Configuration de chaque routeur avec sa table de routage
 - Calcul des tables
 - Algorithme pour trouver le chemin le plus court
 - Algorithmes plus complexes pour éventuellement optimiser l'utilisation du réseau en fonction du trafic
 - Avantages du routage statique
 - Facile à utiliser dans un petit réseau
 - Optimisation des tables de routage (répartition du trafic)
 - Désavantages
 - Pas d'adaptation dynamique à l'évolution du trafic
 - Comment faire si une panne survient ?
 - ⇒ Non adapté aux grands réseaux où l'on peut profiter de la redondance des chemins

6

Routage Dynamique

- Principe
 - Les routeurs coopèrent pour mettre à jour leurs tables de routage dynamiquement en s'appuyant sur un algorithme distribué
 - Utilisé dans quasiment tous les réseaux
 - À l'exception de qd petits réseaux à topologies particulières
- Avant age
 - Adaptabilité (surtout face aux pannes et réinitialisations)
- Désavant age
 - Plus complexe à mettre en œuvre que le routage statique
- Idée : définir des algorithmes distribués pour
 - L'échange des informations de routage
 - Construction et MAJ des tables de routage
- Deux approches distinctes
 - **Routage avec vecteurs de distance**
 - **Routage avec états de liaison**

7

La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
- ✓ Adressage et Format de paquets
- ✓ Les protocoles associés
- ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Principe du routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Réaction aux pannes
 - ✓ Horizon partagé
 - ✓ Le routage avec états des liaisons
- ✓ Le routage dans l'Internet

8

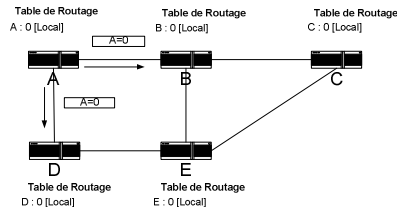
Routage avec vecteurs de distance

- Principe
 - Chaque routeur transmet périodiquement à ses voisins un vecteur contenant **pour chaque destination** connue par ce routeur
 - Adresse de la destination
 - Distance depuis le routeur qui transmet le vecteur jusqu'à la destination
 - Le vecteur de distance est un résumé de la table de routage
 - Chaque routeur reçoit les vecteurs transmis par ses voisins immédiats et se base sur cette information pour construire sa table de routage
 - Permet de re-générer un vecteur de distance et le rediffuser
 - Lorsqu'il démarre, un routeur ne connaît que lui-même
 - Son adresse et sa distance par rapport à lui-même (0)

9

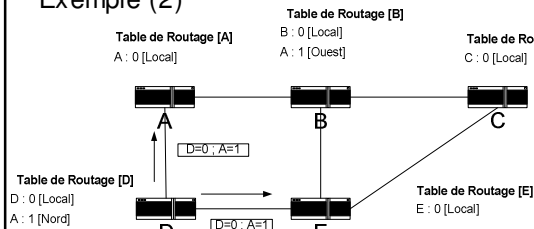
Routage avec vecteur de distance : Exemple

- Exemple
 - Réseau simple avec lignes de distance unitaire
 - Au démarrage, un routeur ne connaît que lui-même et sait qu'il peut se joindre avec une distance 0
 - Vecteur de distance du routeur A
 - A=0
 - Envoyé sur les ports Est et Sud de A



10

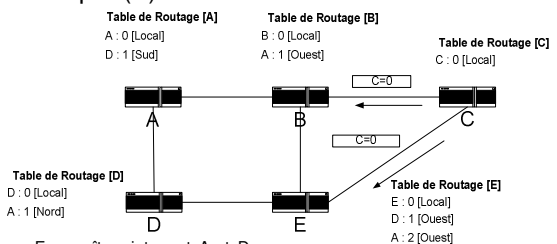
Routage avec vecteur de distance : Exemple (2)



- B et D connaissent maintenant l'existence de A
- Vecteur de distance pour D
 - D = 0 ; A = 1
 - Envoyé sur les ports Nord et Est de D

11

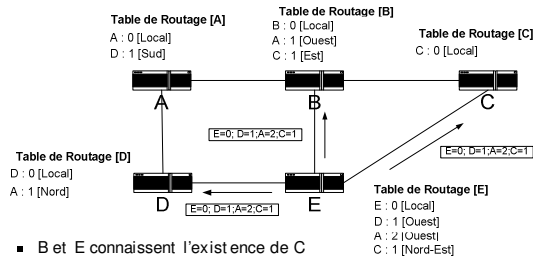
Routage avec vecteur de distance : Exemple (3)



- E connaît maintenant A et D
- Supposons que C décide d'envoyer son vecteur de distance
 - Vecteur de distance pour C à ce moment
 - C = 0
 - Envoyé sur le port Ouest et Sud-Ouest

12

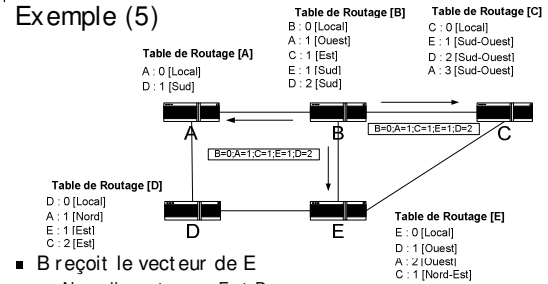
Routage avec vecteur de distance : Exemple (4)



- B et E connaissent l'existence de C
- Nouveau vecteur de distance pour E
 - E = 0 ; D = 1 ; A = 2 ; C = 1
 - Envoyé sur tous les ports de E

13

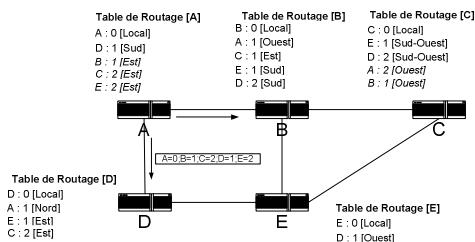
Routage avec vecteur de distance : Exemple (5)



- B reçoit le vecteur de E
 - Nouvelle route pour E et D
 - Route plus mauvaise pour A et C
 - Nouveau vecteur de distance de B
 - B = 0 ; A = 1 ; C = 1 ; E = 1 ; D = 2

14

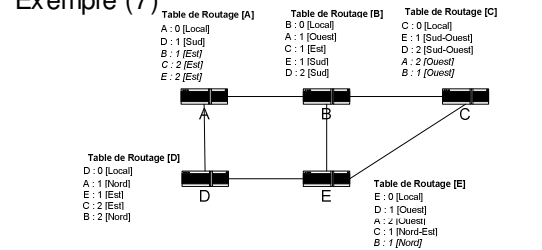
Routage avec vecteur de distance : Exemple (6)



- Nouveau vecteur de distance de A
 - A = 0 ; D = 1 ; B = 1 ; C = 2 ; E = 2
 - Envoyé sur tous les ports de A

15

Routage avec vecteur de distance : Exemple (7)



- A cet instant, tous les routeurs savent comment joindre n'importe quel autre routeur du réseau avec des routes optimales
- Les tables de routage sont stables
 - La réémission d'un vecteur de distance (30s) ne provoque pas de changement dans une table de routage

16

Routage avec vecteur de distance : résumé

- Un routeur A ne connaît que son adresse au démarrage
 - Son vecteur de distance initial est donc : A=0
- Un routeur transmet son vecteur de distance
 - Au démarrage
 - Pour s'annoncer à ses voisins
 - A chaque fois que sa table de routage change
 - Car il a reçu un vecteur de distance qui la met à jour
 - Car un lien est tombé en panne
 - Périodiquement
 - Typiquement toutes les 30s
 - Permet le maintien des tables de routage
- A partir de rien (connaissance locale) on réussit à construire une table de routage stable (ou tous les routeurs peuvent se joindre avec un nombre de saut minimum)
 - Ce mécanisme est très simple
- Remarque : en général utilisé avec le critère nombre de sauts

17

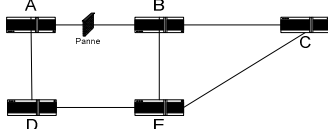
La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
 - ✓ Adressage et Format de paquets
 - ✓ Les protocoles associés
 - ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est-ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Principe du routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Réaction aux pannes
 - ✓ Horizon partagé
 - ✓ Le routage avec états des liaisons
- ✓ Le routage dans l'Internet

18

Routage avec vecteur de distance : problème

- Que faire en cas de panne d'une ligne ?



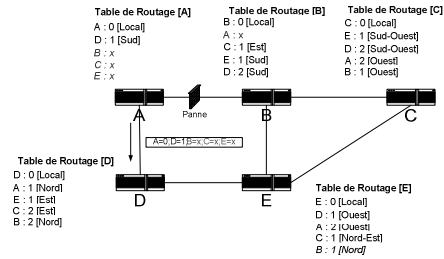
- Supprimer dans la table de routage de A et B les destinations que l'on pouvait joindre via la ligne en panne.
 - Ne suffit pas, il faut également propager dans le réseau l'information concernant la panne de la ligne

Idée

- Une ligne en panne = ligne avec une distance infinie
- Envoyer un nouveau vecteur de distance indiquant une distance infinie pour les destinations que l'on pouvait joindre via la ligne qui est tombée en panne

19

Routage avec vecteur de distance : réaction aux pannes

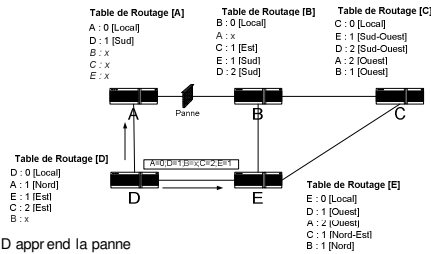


Nouveau vecteur de distance de A

- A = 0 ; D = 1 ; B = ∞ ; C = ∞ ; E = ∞
- Envoyé sur le port Sud de A

20

Routage avec vecteur de distance : réaction aux pannes (2)

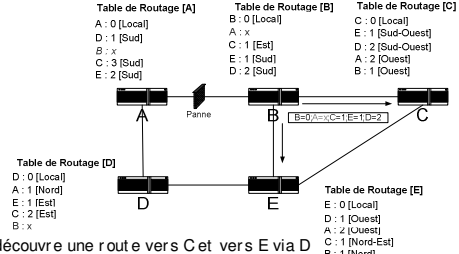


D apprend la panne

- D passait par A pour aller à B
- A annonce maintenant une distance infinie pour B
- D ne sait plus joindre B en passant par A
- Nouveau vecteur de distance pour D
 - D = 0 ; A = 1 ; E = 1 ; C = 2 ; B = ∞

21

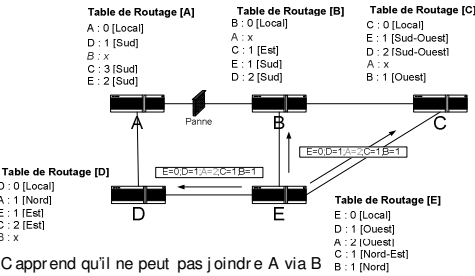
Routage avec vecteur de distance : réaction aux pannes (3)



- A découvre une route vers C et vers E via D
- A et D ne peuvent toujours pas joindre B
- C doit toujours joindre A via B
- Vecteur de distance pour B
 - B = 0 ; A = ∞ ; C = 1 ; E = 1 ; D = 2

22

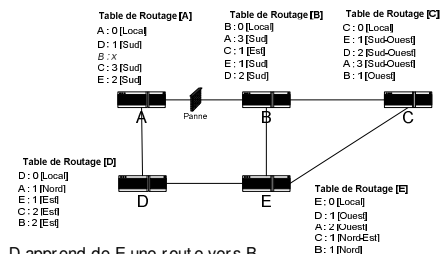
Routage avec vecteur de distance : réaction aux pannes (4)



- C apprend qu'il ne peut pas joindre A via B
- Vecteur de distance de E
 - E = 0 ; D = 1 ; A = 2 ; C = 1 ; B = 1
 - Envoyé par E sur tous ses ports

23

Routage avec vecteur de distance : réaction aux pannes (5)



- D apprend de E une route vers B
- B apprend de E une route vers A
- C apprend de E une route vers A
 - D enverra son vecteur de distance et annoncera à A la route permettant de joindre B via D

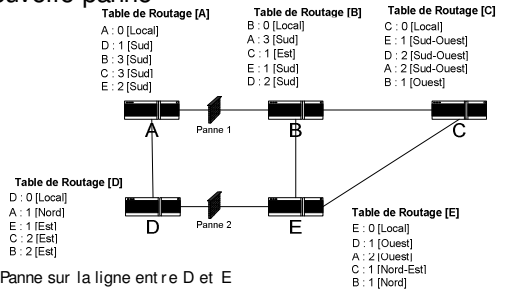
24

La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
- ✓ Adressage et Format de paquets
- ✓ Les protocoles associés
- ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Principe du routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Réaction aux pannes
 - ✓ Horizon partagé
 - ✓ Le routage avec états des liaisons
- ✓ Le routage dans l'Internet

25

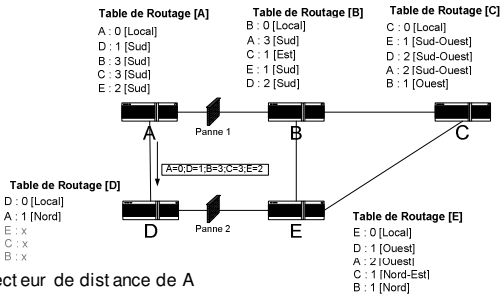
Routage avec vecteur de distance : nouvelle panne



- Panne sur la ligne entre D et E
- D découvre l'existence de la panne
 - D sait maintenant que la distance vers E, C et B est ∞
 - Si D envoie son vecteur de distance, pas de problème

26

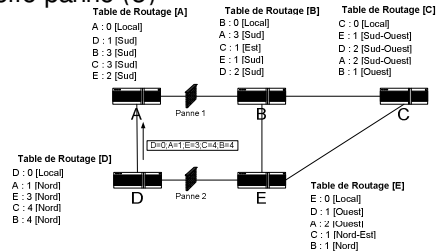
Routage avec vecteur de distance : nouvelle panne (2)



- Vecteur de distance de A
 - A = 0 ; D = 1 ; B = 3 ; C = 3 ; E = 2
 - Envoyé sur tous les ports de A (reste uniquement le port sud)

27

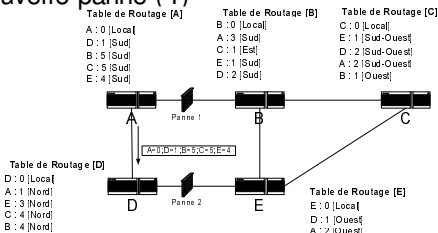
Routage avec vecteur de distance : nouvelle panne (3)



- Le vecteur de distance de A permet à D d'avoir à nouveau une route vers B, C et E
- Nouveau vecteur de distance pour D
 - D = 0 ; A = 1 ; E = 3 ; C = 4 ; B = 4
 - Envoyé sur tous les ports de D

28

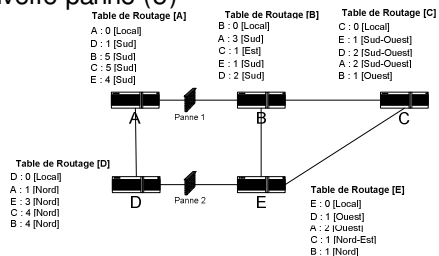
Routage avec vecteur de distance : nouvelle panne (4)



- Mauvaise nouvelle pour A, sa route vers B, C et E est plus longue de deux unités
 - Nouveau vecteur de distance pour A
 - A = 0 ; D = 1 ; B = 4 ; C = 4 ; E = 3
 - Envoyé sur tous les ports

29

Routage avec vecteur de distance : nouvelle panne (5)



- Mauvaise nouvelle pour D, sa route vers B, C et E est plus longue de deux unités
 - Nouveau vecteur de distance pour D
 - A = 1 ; D = 0 ; B = 5 ; C = 5 ; E = 4
 - Envoyé sur tous les ports
 - Problème de comptage à l'infini !!!!!!! >> Gaspillage des ressources

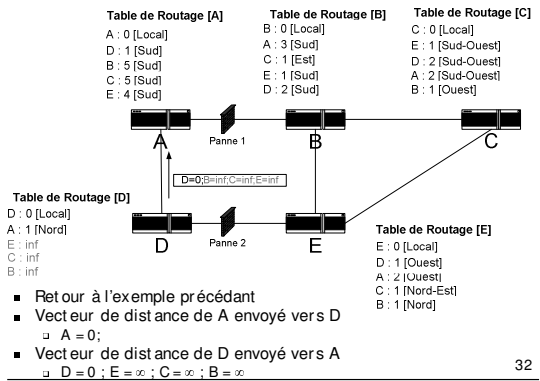
30

Routage avec vecteur de distance : nouvelle panne (6)

- Origine du problème de comptage à l'infini
 - Un routeur annonce sur une ligne des routes qu'il a apprises via cette même ligne
- Comment éviter le comptage à l'infini ?
 - Horizon partagé (Split Horizon)
 - Principe
 - Construire un vecteur de distance **pour chaque ligne**
 - Sur une ligne, ne pas annoncer (dans son VD) les destinations que l'on parvient à joindre via cette ligne

31

Horizon partagé



32

Horizon partagé (2)

- A apprend de D la mauvaise nouvelle
-
- Table de Routage [A]**
A : 0 [Local]
D : 1 [Sud]
B : inf
C : inf
E : inf
- Table de Routage [B]**
B : 0 [Local]
A : 3 [Sud]
C : 1 [Est]
E : 1 [Sud]
D : 2 [Sud]
- Table de Routage [C]**
C : 0 [Local]
E : 1 [Sud-Ouest]
D : 2 [Sud-Ouest]
A : 2 [Sud-Ouest]
B : 1 [Ouest]
- Table de Routage [D]**
D : 0 [Local]
A : 1 [Nord]
E : inf
C : inf
B : inf
- Table de Routage [E]**
E : 0 [Local]
D : 1 [Ouest]
A : 2 [Ouest]
C : 1 [Nord-Est]
B : 1 [Nord]
- Split horizon permet d'éviter le problème de comptage à l'infini dans cet exemple

33

Horizon partagé avec empoisonnement

- Amélioration à horizon partagé :
 - Horizon partagé avec empoisonnement
 - Principe
 - Construire un vecteur de distance pour chaque ligne
 - Sur une ligne donnée
 - Annoncer les destinations que l'on parvient à atteindre via d'autres lignes normalement
 - Annoncer les destinations que l'on parvient à atteindre via cette ligne en indiquant une distance infinie
 - Avantage
 - Permet d'annoncer plus rapidement les mauvaises nouvelles que Split horizon simple

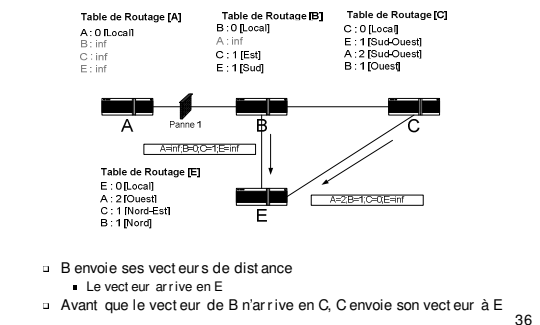
34

Horizon partagé avec empoisonnement (2)

- Retour à l'exemple précédent
-
- Table de Routage [A]**
A : 0 [Local]
D : 1 [Sud]
B : 3 [Sud]
C : 3 [Sud]
E : 3 [Sud]
- Table de Routage [B]**
B : 0 [Local]
A : 3 [Sud]
C : 1 [Est]
E : 1 [Sud]
D : 2 [Sud]
- Table de Routage [C]**
C : 0 [Local]
E : 1 [Sud-Ouest]
D : 2 [Sud-Ouest]
A : 2 [Sud-Ouest]
B : 1 [Ouest]
- Table de Routage [D]**
D : 0 [Local]
A : 1 [Nord]
E : inf
C : inf
B : inf
- Table de Routage [E]**
E : 0 [Local]
D : 1 [Ouest]
A : 2 [Ouest]
C : 1 [Nord-Est]
B : 1 [Nord]
- Vecteur de distance envoyé par A
■ A = 0 ; D = ∞ ; B = ∞ ; C = ∞ ; E = ∞
- D apprend la mauvaise nouvelle de A plus rapidement

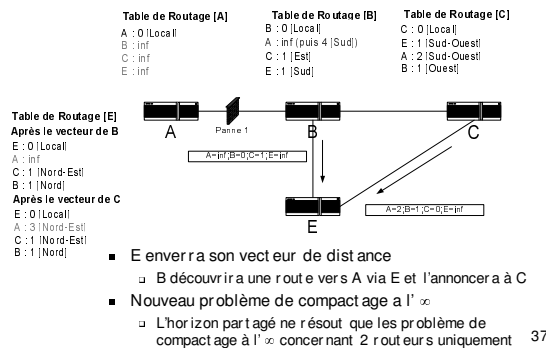
35

Limitation de l'horizon partagé (avec ou sans empoisonnement)



36

Limitation de l'horizon partagé (avec ou sans empoisonnement)



37

La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
- ✓ Adressage et Format de paquets
- ✓ Les protocoles associés
- ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est-ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Le routage avec états de liaisons
 - ✓ Principe du routage avec états de liaisons
 - ✓ Découverte des voisins et mesure des délais
 - ✓ Détermination de la topologie
 - ✓ Construction des tables de routage
- ✓ Le routage dans l'Internet

38

Routage avec états des liaisons

- Idée
 - Plutôt que d'envoyer uniquement la distance vers chaque destination, diffuser sur tous les routeurs une carte complète du réseau
- Comment construire cette carte ?
 - Chaque routeur doit découvrir ses voisins
 - Chaque routeur doit mesurer le délai de la ligne vers chacun de ces voisins
 - Chaque routeur envoie un paquet indiquant ses proches voisins à tous les routeurs du réseau
 - Cartographie locale du réseau
 - Diffusion à tous le réseau et non uniquement à ces voisins comme dans le routage avec vecteurs de distance
 - Les routeurs assemblent les paquets reçus et utilisent Dijkstra pour calculer le chemin le PLUS court

39

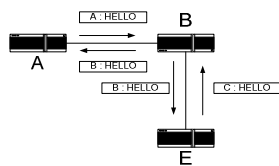
La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
- ✓ Adressage et Format de paquets
- ✓ Les protocoles associés
- ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est-ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Le routage avec états de liaisons
 - ✓ Principe du routage avec états de liaisons
 - ✓ Découverte des voisins et mesure des délais
 - ✓ Détermination de la topologie
 - ✓ Construction des tables de routage
- ✓ La routage dans l'Internet

40

Découverte des voisins

- Comment un routeur peut-il connaître ses voisins ?
 - HELLO
 - Envoyer périodiquement un paquet spécial HELLO qui indique l'adresse du routeur sur chaque ligne
 - Les voisins répondent en envoyant leur adresse
 - En plus de la découverte des voisins, cet envoi périodique permet de vérifier l'état de la ligne (active, inactive)



41

Mesure du délai

- Comment mesurer le délai des lignes ?
 - Distance à laquelle sont les voisins directs.
 - Via le mécanisme HELLO
 - Le récepteur d'un HELLO y répond immédiatement
 - Permet de mesurer le délai aller-retour
 - En divisant par 2 on obtient le délai de la ligne
 - Problème si la ligne est asymétrique (exemple : lignes ADSL). Par contre ceci est rarement le cas aujourd'hui.
 - Le délai doit-il tenir compte de la charge de la ligne ?
 - Si oui, le routage pourra prendre la charge indirectement en compte, mais le routage risque d'être instable
 - Si non, le routage sera plus stable, mais certaines lignes risquent d'être mal utilisées

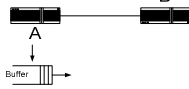
42

Mesure du délai (2)

- Comment tenir compte de la charge de la ligne dans la mesure du délai ?
 - Placement du paquet HELLO
 - À la tête du buffer : délai mesuré par HELLO sera indépendant de la charge de la ligne
 - À la queue du buffer (comme s'il s'agissait d'un paquet normal) : délai par HELLO mesuré sera fonction de la charge de la ligne

Contient des paquets en attente de Transmission

- Si la charge est élevée, le buffer contiendra en moyenne beaucoup de paquets en attente
- Si la charge est faible, le buffer contiendra en moyenne peu de paquets



43

La couche réseau - PLAN

- ✓ La couche réseaux de l'Internet
- ✓ Adressage et Format de paquets
- ✓ Les protocoles associés
- ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Le routage avec états de liaisons
 - ✓ Principe du routage avec états de liaisons
 - ✓ Découverte des voisins et mesure des délais
 - ✓ Détermination de la topologie
 - ✓ Construction des tables de routage
- ✓ La routage dans l'Internet

44

Détermination de la topologie

- Comment déterminer la topologie du réseau ?
 - En découvrant ses voisins, chaque routeur découvre une petite partie du réseau
 - En assemblant ces petites parties, on peut construire la topologie complète
 - Chaque routeur résume sa topologie locale en un **link state packet (LSP)** contenant
 - Identification du routeur
 - Couple (voisin, délai pour atteindre ce voisin)
 - Quand construire les LSPs ?
 - Périodiquement (période plus faible que le VD, 30 minutes)
 - En cas de problèmes (ligne devenant active ou en panne ou délai changeant fortement)

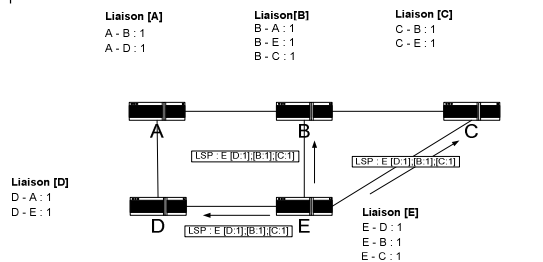
45

Distribution de la topologie

- Comment distribuer/diffuser la topologie ?
 - En s'appuyant sur les tables de routage
 - Impossible car ces tables n'existent pas ou risquent d'être incohérentes lorsque l'on commence à diffuser la topologie
 - Sans tenir compte de la table de routage
 - La topologie doit être reçue par chaque routeur du réseau
 - Première solution
 - Chaque routeur place sa topologie locale dans un paquet spécial (LSP) et envoie ce paquet sur toutes ses lignes de sortie
 - Tout routeur qui reçoit un LSP d'un autre routeur stocke le contenu en mémoire et diffuse ce LSP sur ces lignes de sortie (sauf celle d'où le LSP provient)

46

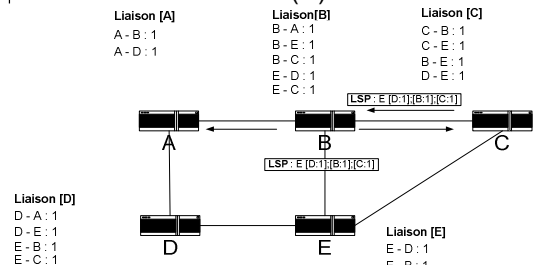
Diffusion des LSPs



- E diffuse le premier son LSP sur ses ports
 - Contenu du LSP de E
 - Émetteur du LSP et topologie locale du réseau autour de E
 - D : 1 ; B : 1 ; C : 1

47

Diffusion des LSPs (2)



- Chaque routeur rediffuse sans le modifier le LSP reçu sur toutes ses lignes sauf celles d'où le LSP provient
- Comment éviter qu'un LSP ne boucle en permanence ?
 - On risque de finir par ne plus envoyer que des LSPs ...

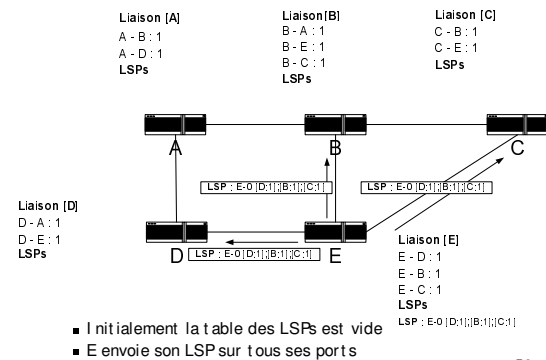
48

Diffusion des LSPs (3)

- Comment résoudre le problème du bouclage ?
 - Il faut qu'un routeur évite de rediffuser un LSP qu'il a déjà précédemment reçu sur une autre ligne
 - Pour cela, un routeur doit conserver le dernier LSP émis par chaque routeur du réseau
 - Principe
 - Chaque LSP contient
 - Un numéro de séquence
 - Ce numéro est incrémenté par l'émetteur à chaque nouveau LSP
 - Une identification de l'émetteur du LSP
 - Les couples **adresse:distance** pour tous les routeurs voisins du routeur qui émet le LSP
 - Chaque routeur stocke le LSP le plus récent de chaque routeur du réseau
 - Un LSP est traité et rediffusé uniquement s'il est plus récent que ce qui est déjà disponible dans le routeur

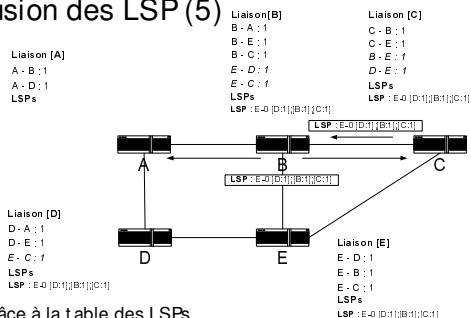
49

Diffusion des LSPs (4)



50

Diffusion des LSPs (5)



- Grâce à la table des LSPs
 - A peut détecter qu'il reçoit le même LSP via D et via B
 - B peut détecter qu'il reçoit un ancien LSP via C
 - C peut détecter qu'il reçoit le même LSP de E via B

51

Diffusion des LSPs (6)

- Problème
 - Un routeur plante puis redémarre
 - Il envoie son LSP avec un numéro de séquence == 0
 - Si un ancien LSP de ce routeur existait dans le réseau, les autres routeurs ne propageront pas le nouveau LSP
 - Génant car ce routeur ne sera pas pris en compte pendant une longue période de temps après son redémarrage
- Solution
 - Ajouter un champ « age » dans les LSPs
 - Le champ age est décrémenté toutes les N secondes
 - Même à l'intérieur des tables de LSPs des routeurs
 - Le champ age correspond plus à une durée de vie qu'un age
 - Un LSP avec age==0 est trop vieux, il est donc supprimé. Les liaisons correspondantes dans la table de liaison aussi.
 - Chaque routeur envoie périodiquement un nouveau LSP age>0 pour garantir la présence du LSP dans le réseau
 - Age = 3 à 4 fois la période de génération des LSP pour faire face aux pertes de LSP s'il y en avait

52

Diffusion des LSPs (7)

- Améliorations
 - Eviter qu'un LSP ne passe deux fois sur la même ligne → gaspillage de bande passante
 - Lorsqu'un LSP est reçu, le routeur attend une période "aléatoire" de quelques secondes avant de le rediffuser
 - Si le même LSP arrive d'une autre ligne, on a évité une diffusion
 - Si après ce temps le LSP n'est pas arrivé, on le diffuse
 - ⇒ Eviter le gaspillage de bande passante
 - ⇒ Coût : introduction d'un temps de retard dans chaque routeur
 - Garantir la transmission correcte des LSPs
 1. CRC dans chaque LSP pour détecter les erreurs de transmission
 2. La création de chaque LSP est acquittée par le routeur qui reçoit sur la ligne d'où il l'a reçu
 - Si l'acquiescement n'arrive pas, le LSP est réémis
 - Un routeur qui démarre peut demander à un voisin de recevoir tous les LSPs stockés par ce voisin

53

La couche réseau - PLAN

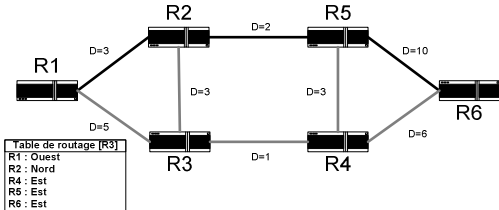
- ✓ La couche réseaux de l'Internet
 - ✓ Adressage et Format de paquets
 - ✓ Les protocoles associés
 - ✓ Fonctionnement des stations et routeurs IP
- ✓ Le routage
 - ✓ Qu'est-ce que le routage ?
 - ✓ Le routage avec vecteurs de distance
 - ✓ Le routage avec états de liaisons
 - ✓ Principe du routage avec états de liaisons
 - ✓ Découverte des voisins et mesure des délais
 - ✓ Détermination de la topologie
 - ✓ Construction des tables de routage
- ✓ La routage dans l'Internet

54

Construction des tables de routage

■ Principe

- Sur la base des LSPs reçus, chaque routeur calcule un arbre de recouvrement minimum en se considérant la racine de l'arbre (algorithme Dijkstra)
- A partir de l'arbre de recouvrement minimum, il est très facile de déduire la table de routage
 - Faire la correspondance entre plus court chemin et port



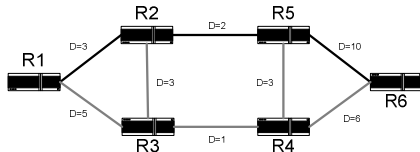
55

Algorithme de Dijkstra

- Construction de l'arbre de recouvrement minimum
 - Initialement, l'arbre comprend uniquement la racine
 - Les routeurs adjacents sont placés avec les coûts de leur ligne dans une liste de candidats
 - Le routeur candidat avec le coût le plus faible est ajouté à l'arbre
 - On examine les voisins du routeur candidat choisi et on modifie la liste des candidats si
 - Un des voisins ne se trouve pas dans la liste des candidats
 - Un des voisins est un routeur de la liste des candidats, mais avec un chemin plus court que celui qui est dans la liste actuelle
 - L'algorithme se poursuit avec la nouvelle liste des candidats et s'arrête avec tous les routeurs dans l'arbre

56

Algorithme de Dijkstra (2)



- 1) Routeurs : [R1, R2, R4, R5, R6] ; Candidat [-] ; Arbre : R3
- 2) Routeurs : [R5, R6] ; Candidat [R1(5) ; R2(3) ; R4(1)] ; Arbre : R4
Nouvel Arbre : R3 - R4
Nouveaux candidats ? [R1(5) ; R2(3) ; R5(R4-4) ; R6(R4-7)]
- 3) Routeurs [-] ; Candidats choisis : R2 ; Nouvel Arbre : R2 - R3 - R4
Nouveaux Candidats ? [R1(5) ; R5(R4-4) ; R6(R4-7)]
- 4) Candidat choisi : R5 ; Nouvel Arbre : R2 - R3 - R4 - R5
Nouveaux candidats ? [R1(5) ; R6(R4-7)]

57

Routage hiérarchique

- Dans un gros réseau, la table de routage peut devenir très grande et la distribution des LSPs consommer beaucoup de bande passante
- Routage hiérarchique
 - Idée :
 - Réduire la taille des tables de routage et le nombre de LSPs transmis dans le réseau
 - Principe
 - Diviser le réseau en région
 - À l'intérieur de chaque région tous les routeurs connaissent la topologie complète
 - Les routeurs ne connaissent qu'un résumé de la topologie à l'extérieur de leur région
 - Réduit un petit peu l'efficacité du routage, mais facilite grandement la diffusion des LSPs
 - Utilisé dans quasiment tous les grands réseaux (Internet, ...)

58