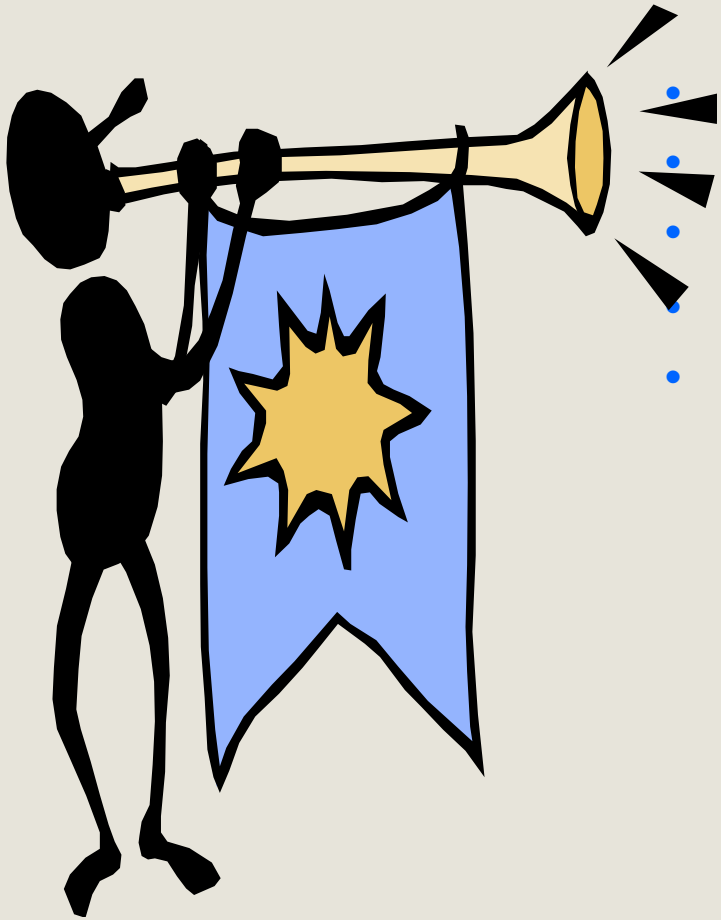
COUCHE RÉSEAU

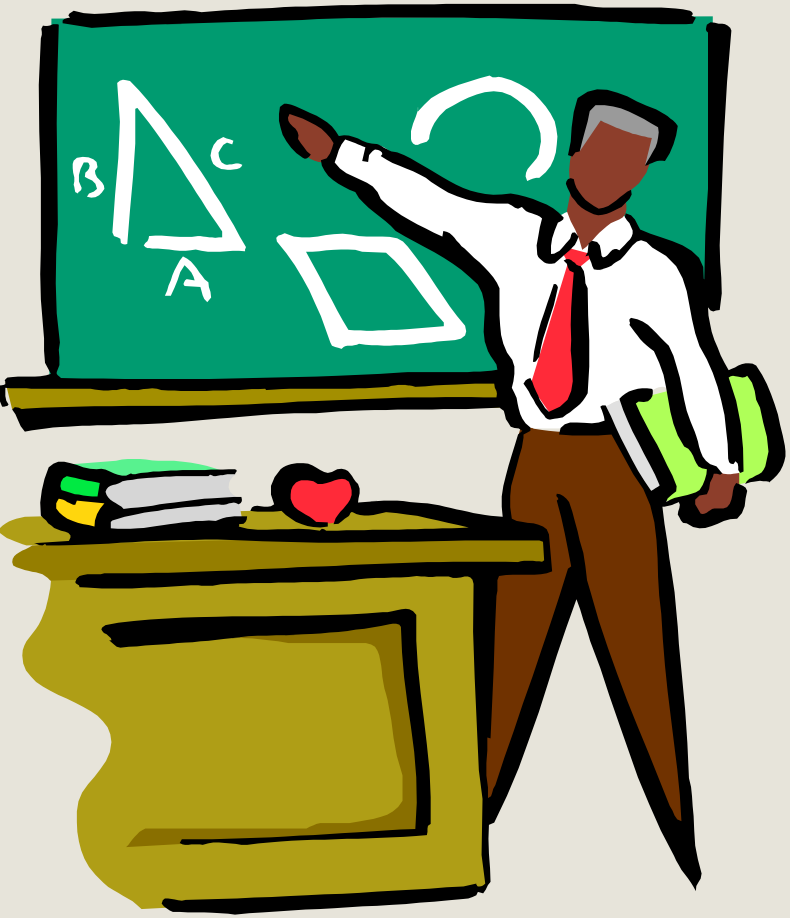
RÉSEAUX ET TÉLÉCOMMUNICATIONS

Table des matières -



- Les problèmes de conception
- Routage
- Contrôle de congestion
- Qualité de services
- Internet

Les problèmes de conception

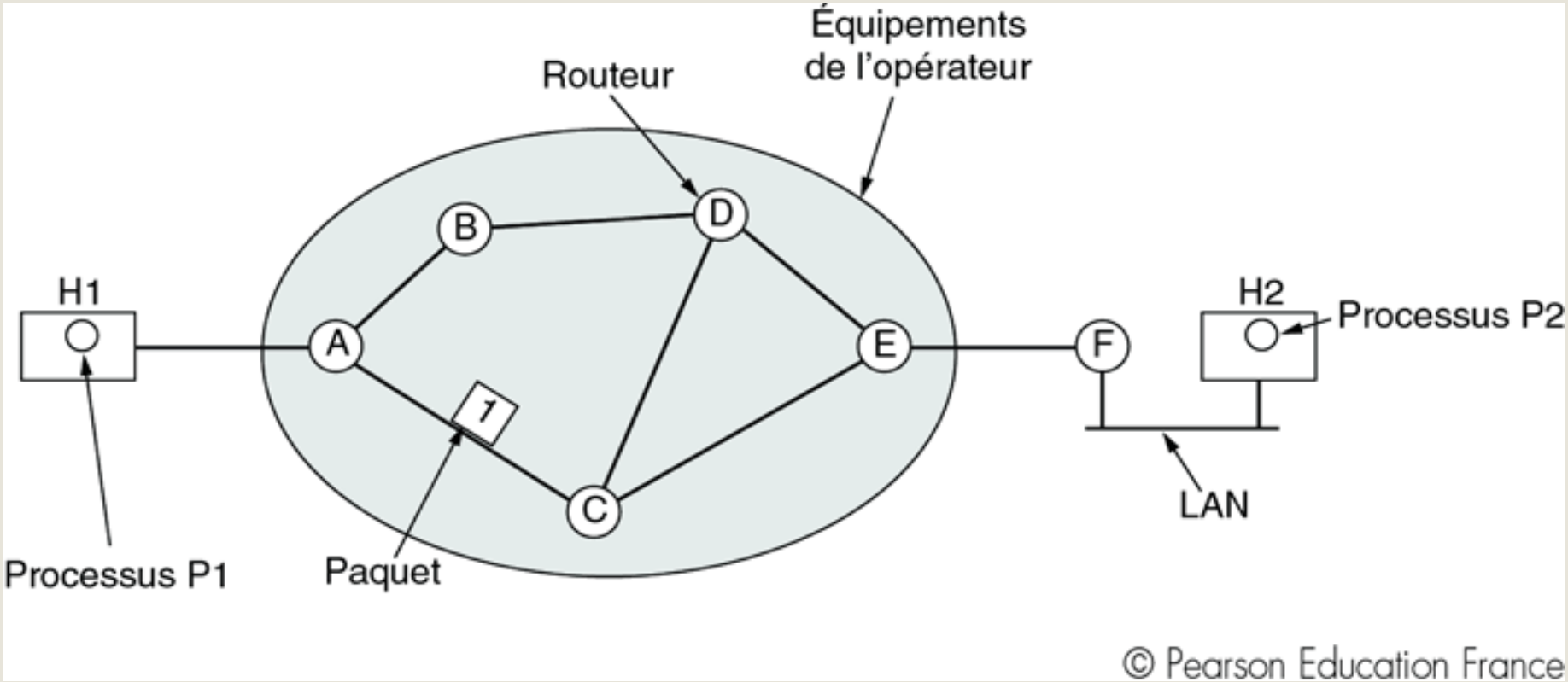


1. Environement
2. Service sans connexion
3. Service avec connexion
4. Comparaison

Environement

Application
Transport
Réseau
Liaison de données
Support physique

Environement ...



Services fournis a la couche transport ...

Quelques requis fondamentaux

- Indépendance du nombre, du type te la technologie des routeurs
- Adressage universel (I.e valable sur tous les types de réseaux)

Deux types de services

- Sans connexion
- Avec connexion

Services sans connexion ...

Datagrammes

- Injectés individuellement dans le sous réseau
- Décision de routage prise pour chaque paquet

Similaire au système postal

Services sans connexion ...

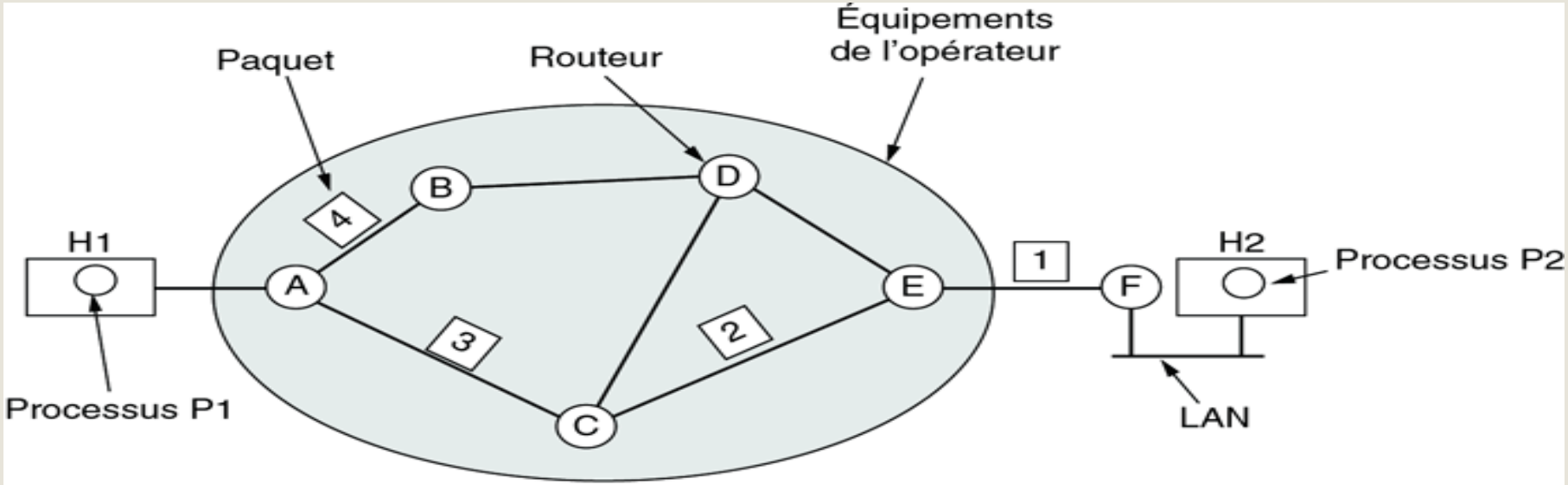


Table de routage de A

initiale		modifiée	
A	–	A	–
B	B	B	B
C	C	C	C
D	B	D	B
E	C	E	B
F	C	F	B

Lignes de sortie

Table de C

A	A
B	A
C	–
D	D
E	E
F	E

Table de E

A	C
B	D
C	C
D	D
E	–
F	F

© Pearson Education France

Services avec connexion ...

- Circuit virtuel
  - Connexion
  - Ouverture de circuit
    - Tous les paquets empruntent le même chemin

Services avec connexion ...

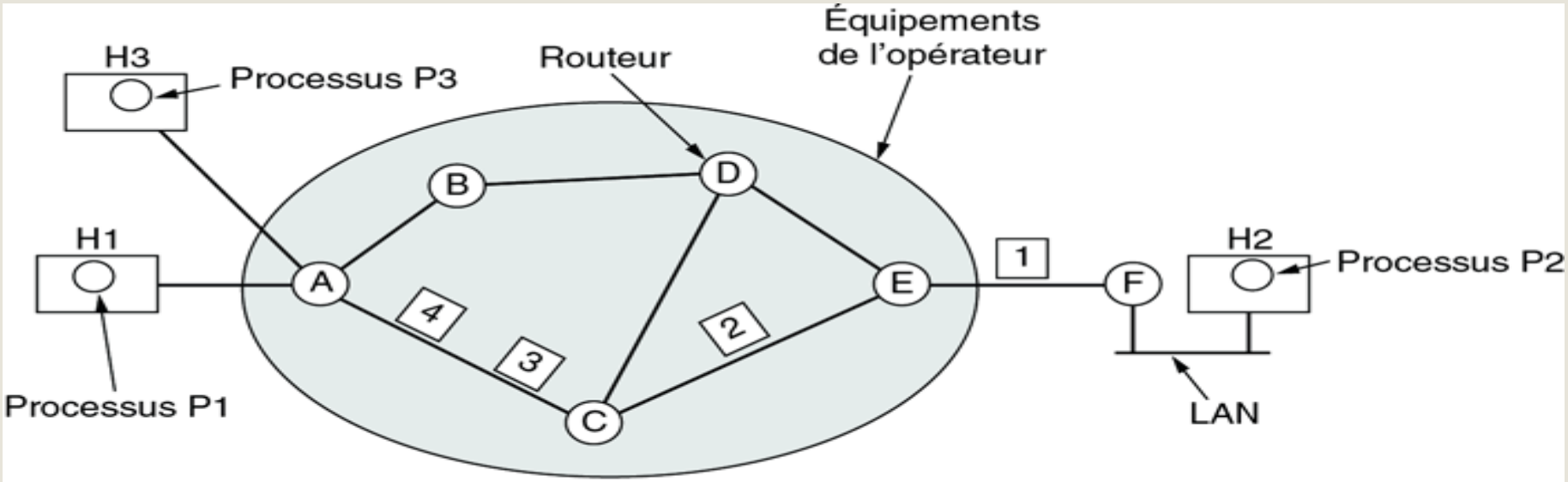


Table de routage de A

H1	1
H3	1

Entrée

C	1
C	2

Sortie

Table de C

A	1
A	2

E	1
E	2

Table de E

C	1
C	2

F	1
F	2

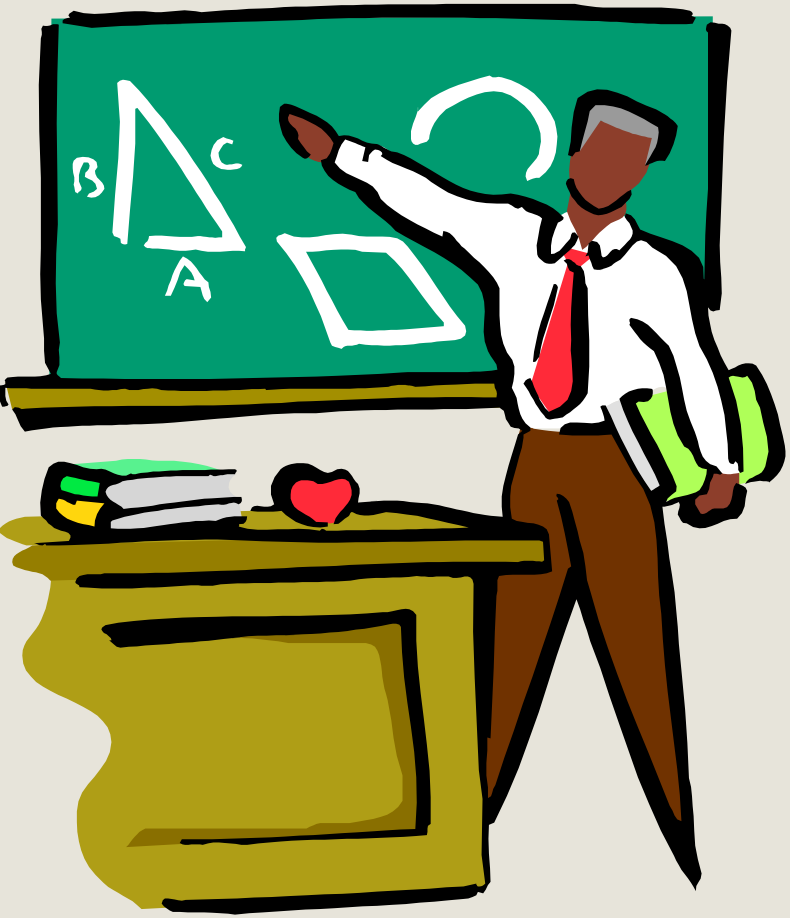
© Pearson Education France

Comparaison ...

Critères

- Phase d établissement d une connexion
- Adressage
- Routage
- Impact d une panne de routeur
- Qualité de service
- Contrôle de congestion

Algorithmes de routage



1. Principes généraux
2. Routage sans table
3. Routage avec table
4. Routage multicast

Principaux généraux ...

- Les deux processus
  - Remplissage de la table de routage (s il y en a une)
  - Décision de routage
- Quelques requis
  - Exatitude
  - Simplicité
  - Robustesse
  - Équité

Principaux généraux ...

Critères de classification

- Avec ou sans table de routage
- Adaptifs/dynamiques vs. non adaptifs / statiques
- Centralisés vs. distribués

Routage sans table ...

- Rarement utilisé
  - Réseaux spécialisés
    - Certains réseaux militaires
  - Utilisé comme complément de certaines techniques de routage avec table
    - Diffusion de table de routage
  - Inodation pure
  - – Chaque paquet recu par un noeud est envoyé a tous les noeuds adjacents sauf celui duquel il est recu
  - – Processus reitéré jusqu a ce que le paquet atteigne la destination finale

Routage sans table ...

Routage par inondation

Avantages

- Rapidité
- Robustesse

Desavantages

- Nombre élevé de paquets injectés dans le réseau
- Nombre élevé de paquets recus par la destination

Routage sans table ...

Quelques amiliorations a l inondation pure

1. Destinataire envoie par inondation accusé de reception a tous les noeuds des reception de la premiere copie
   - Noeuds cessent envoie du paquet acquitté
2. Noeuds numerotent séquentiellement paquets transmis
   - Base: source et destination
   - Paquets deja transmis ne sont pas re-transmis
3. Inondation controlée
   - Chaque paquet a une valeur V
   - Chaque lien a un poids P
   - Valeur V décrémentée du poids P chaque fois que le paquet traverse le lien
   - Paquet ne peut traverser lien de poids P que si sa valeur V est superieure au poids P

Routage sans table ...

Autres techniques de routage sans table

Routage aleatoire

- Chaque noeud envoie tout paquet recu a un noeud adjacent sélectionné aléatoirement
  - Exclusion du noeud duquel le paquet a été recu
  - Processus re-itéré jusqu a ce que le destinataire recoive le paquet

Routage par la source

- Expediteur indique dans le paquet le chemin a suivre
- Force routeurs a expédier sur routeurs adjacents indiqués dans paquets
  - Parfois utilisé dans Internet
    - Chemin indiqué dans paquet IP

Routage avec table ...

- Remplissage de table de routage
  - Principe du chemin le plus court
  - Plusieurs métriques sont possibles
  - Cout
    - Distance
      - Nombre de sauts
      - Distance en kilomètres
    - Autre
      - Bande passante
  - Algorithme de Dijkstra
  - Methode de base pour calcul de la distance la plus courte
  - Utilisé seul ou
  - Comme base d autres algorithmes plus complexes

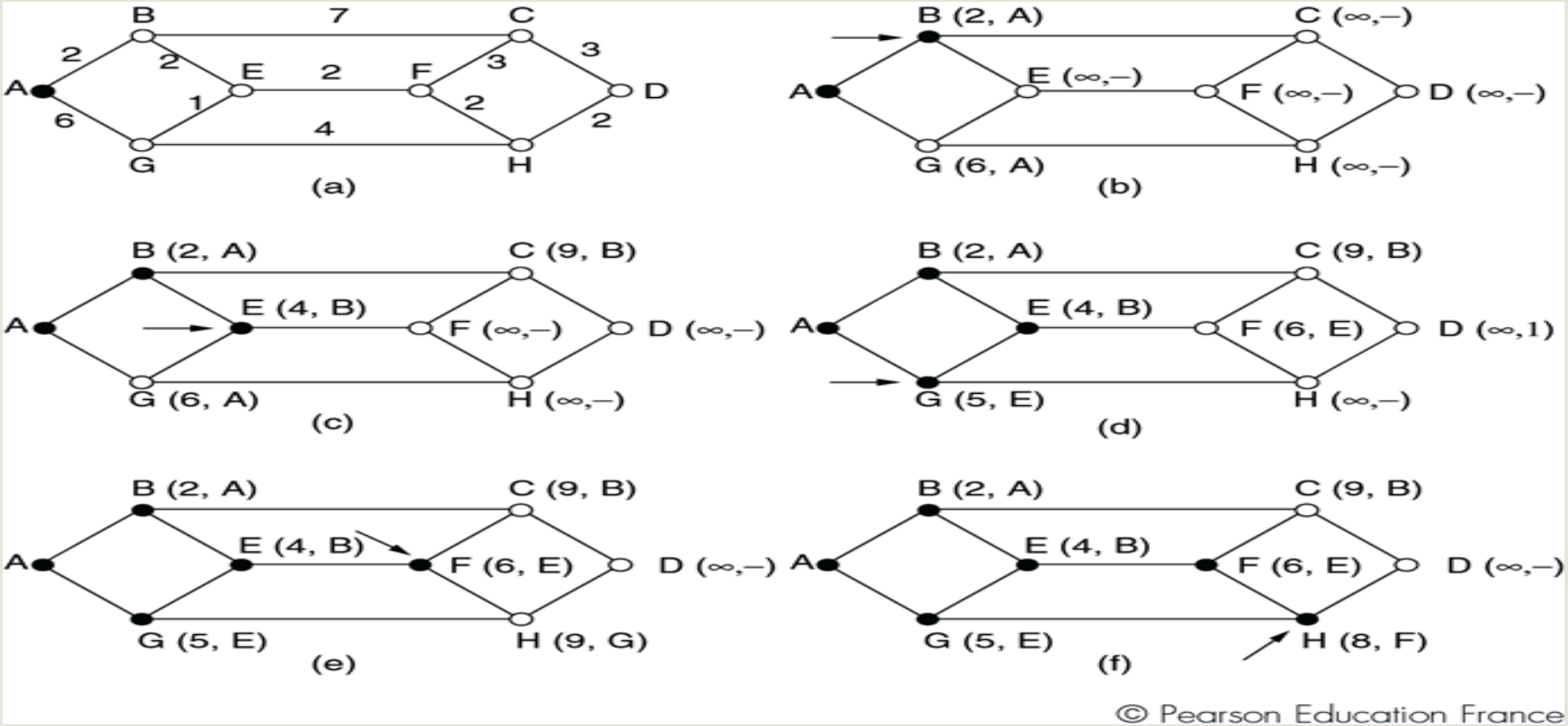
Routage avec table ...

Algorithme de Dijkstra

- Si N est sur le plus court chemin entre S et T, le plus court chemin entre S et N ou le plus court chemin entre N et T est connu
- Ce constat peut être utilisé itérativement pour construire le chemin le plus court entre S et T
- Les noeuds sont divisés en 3 ensembles
  - Premier ensemble: Les noeuds pour lesquels le plus court chemin partant de S est connu
  - Deuxième ensemble: Les noeuds qui sont candidats pour passer dans le premier ensemble
  - Troisième ensemble: Tous les autres noeuds

Routage avec table ...

Algorithme de Dijkstra



© Pearson Education France

Routage avec table ...

Algorithme de Dijkstra

```
#define MAX_NODES 1024        /* nombre maximal de nœuds */
#define INFINITY 1000000000  /* nombre supérieur à tout chemin maximal */
int n, dist[MAX_NODES][MAX_NODES];/* dist[i][j] est la distance de i à j */
void shortest_path(int s, int t, int path[])
{ struct state {      /* le chemin en cours d'analyse */
   int predecessor;      /* nœud précédent */
   int length;           /* longueur entre la source et le nœud en cours */
   enum {permanent, tentative} label; /* état de l'étiquette */
} state[MAX_NODES];
int i, k, min;
struct state *p;
for (p = &state[0]; p < &state[n]; p++) { /* état d'initialisation */
   p->predecessor = 1;
   p->length = INFINITY;
   p->label = tentative;
}
```

Routage avec table...

```
Algorithme de Dijkstra
state[t].length = 0; state[t].label = permanent;
k = t;          /* k est le nœud actif initial */
do {            /* Y a-t-il un meilleur chemin à partir de k ? */
   for (i = 0; i < n; i++)          /* ce graphe possède n nœuds */
      if (dist[k][i] != 0 && state[i].label == tentative) {
         if (state[k].length + dist[k][i] < state[i].length) {
            state[i].predecessor = k;
            state[i].length = state[k].length + dist[k][i];
         }
      }
/* Trouve le nœud provisoire avec la plus faible valeur d'étiquette */
   k = 0; min = INFINITY;
   for (i = 0; i < n; i++)
      if (state[i].label == tentative && state[i].length < min) {
         min = state[i].length;
         k = i;
      }
   state[k].label = permanent;
} while (k != s);
/* Copie le chemin dans le tableau de résultats */
i = 0; k = s;
do {path[i++] = k; k = state[k].predecessor; } while (k >= 0);
}
```

Routage avec table ...

Algorithme vecteur de distance

- Approche dynamique
- Utilisé dans Arpanet jusqu en 1979
  - Table de routage mise a jour avec information recue des routeurs voisins
  - Table indexée par destination possible contenant
    - Ligne de sortie préférée
    - Cout (e.g. temps, distance)

Routage avec table ...

Algorithme vecteur de distance

- Principe de re-construction dynamique de la table de routage
  - Chaque noeud :
    - connait le cout pour aller vers les noeuds adjacents
    - Envoie périodiquement a chacun des noeuds adjacents (et recoit périodiquement de chacun d entre eux) le cout pour aller vers les destinations
    - Recalcule périodiquement le cout total pour aller vers chaque destination, pour chaque possibilité
    - Choisit le la route avec le cout le plus bas

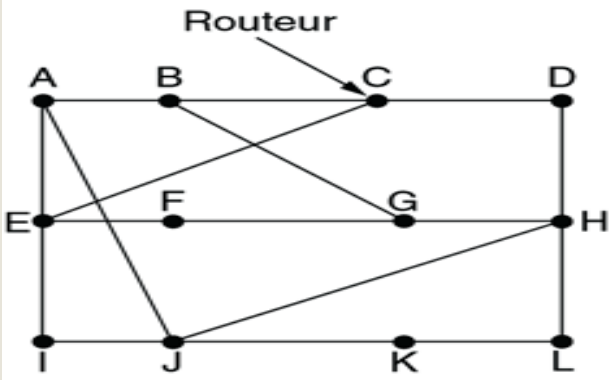
Routage avec table ...

Algorithme vecteur de distance

- Processus dans chaque noeud
  - Envoie périodique de vecteur de distance (table indexée) a chaque voisin
  - Réception périodique de vecteur de distance de chaque voisin
  - Calcul périodique de la nouvelle table de routage
    - Principe du moindre cout

Routage avec table ...

Algorithme vecteur de distance



(a)

Vers	A	I	H	K	Nouveaux délais depuis J	Ligne
A	0	24	20	21	8	A
B	12	36	31	28	20	A
C	25	18	19	36	28	I
D	40	27	8	24	20	H
E	14	7	30	22	17	I
F	23	20	19	40	30	I
G	18	31	6	31	18	H
H	17	20	0	19	12	H
I	21	0	14	22	10	I
J	9	11	7	10	0	
K	24	22	22	0	6	K
L	29	33	9	9	15	K
	Délai JA de 8	Délai JI de 10	Délai JH de 12	Délai JK de 6	Nouvelle table de routage de J	

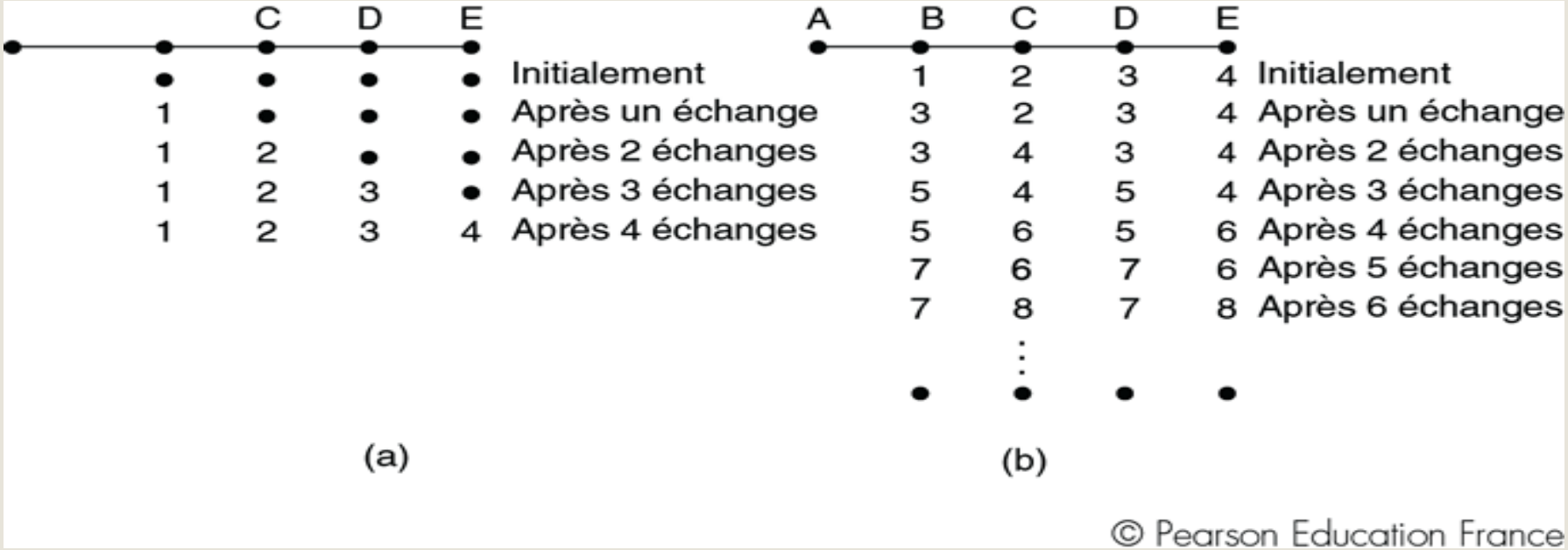
Vecteurs reçus des quatre voisins de J

(b)

© Pearson Education France

Routage avec table ...

- Algorithme vecteur de distance
- Le problème de la valeur infinie
- Les bonnes nouvelles se propagent rapidement (a) et les mauvaises lentement (b) (Note: B manque a gauche)



Routage avec table ...

Algorithme état de lien

- Remplace algorithme vecteur de distance en 1979
- Largement déployée sur Internet
- Apporte une solution au problème fondamental de l algorithme vecteur distance
  - Problème
    - Lenteur de la propagation des mauvaises nouvelles (problème du comptage infini)
  - Racine
    - Compter uniquement sur les voisins
    - Confiance absolue en eux et en l information qu ils donnent
      - Voisins ne peuvent donner que l information qu ils ont …

Routage avec table ...

Algorithme état de lien

- Chaque noeud compte sur tous les autres noeuds du réseau
  - Permet d avoir sa propre vue du réseau au lieu de la vue décrite par les voisins
    - Permet d avoir les mauvaises nouvelles plus rapidement

Routage avec table ...

Algorithme état de lien

1. Découvrir les voisins et leur adresse de réseau
2. Calculer le cout pour atteindre chacun d eux
3. Construire un paquet spécial contenant l information
4. Envoyer ce paquet a tous les autres routeurs
5. Calculer le plus court chemin vers chaque routeur en utilisant l information recue de tous les autres routeurs

Routage avec table ...

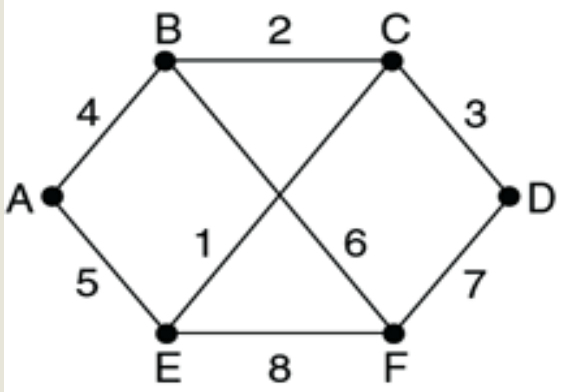
Algorithme état de lien

1. Découvrir les voisins et leur adresse de réseau
   - Paquet spécial HELLO
2. Calculer le cout pour atteindre chacun d eux
   - Paquet spécial ECHO
   - Mesure du temps pris pour l aller-retour
   - Division par 2

Routage avec table ...

Algorithme état de lien

Construire un paquet spécial contenant l information



(a)

Lien État Paquets

A	
Séq.	
Âge	
B	4
E	5

B	
Séq.	
Âge	
A	4
C	2
F	6

C	
Séq.	
Âge	
B	2
D	3
E	1

D	
Séq.	
Âge	
C	3
F	7

E	
Séq.	
Âge	
A	5
C	1
F	8

F	
Séq.	
Âge	
B	6
D	7
E	8

(b)

© Pearson Education France

Routage avec table ...

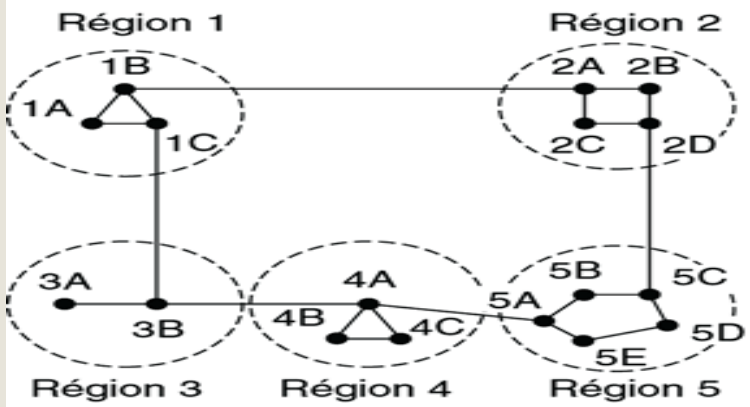
- Algorithme état de lien
  - Distribution de paquets d états de liens
    - Inondation amiliorée (utilisation de numeros de séquence)
  - Calcul du chemin le plus court
    - Algorithme de Dijkstra

Routage avec table ...

- Routage hiérarchique
  - Réduction de la grosseur des tables de routage
    - Réduction de la mémoire requise
    - Réduction des resources processeur requises
  - Très utilisé dans les réseaux téléphoniques
  - Principes
    - Découpage en régions
    - Chaque routeur a une table complète pour les noeuds qui sont dans sa région
    - Utilisation d un point d entrée et d un seul par région pour toutes les autres régions

Routage avec table ...

Routage hiérarchique



(a)

Table complète pour 1A

Dest.	Ligne	Sauts
1A	–	–
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

(b)

Table hiérarchique pour 1A

Dest.	Ligne	Sauts
1A	–	–
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

(c)

© Pearson Education France

Routage multicast ...

- Paquet destiné a plusieurs destinations au lieu d une seule
  - Travail de groupe
  - Deux aspects
    - Gestion de groupe
      - Creation de groupe et assignation d une seule addresse au groupe
      - Inscription
      - Retrait
      - Information sur les groupes propagée dans tout le réseau
        - Envoyée directement par les hotes
        - Envoyée sur demande
    - Routage multicast
      - Indépendant du processus de gestion de groupe

Routage multicast ...

- Routage multicast
  - Méthodes naives et peu efficaces
    - Expéditeur envoie aux membres 1 par 1
    - Inondation

Routage multicast ...

Routage multicast

Méthode efficace

1. Construction d un arbre recouvrant par chaque routeur
   - Routeurs reliés aux hotes appartenant aux groupe multicast
   - Autres routeurs
2. Elagage des lignes menant aux hotes n appartenant pas aux groupes multicast

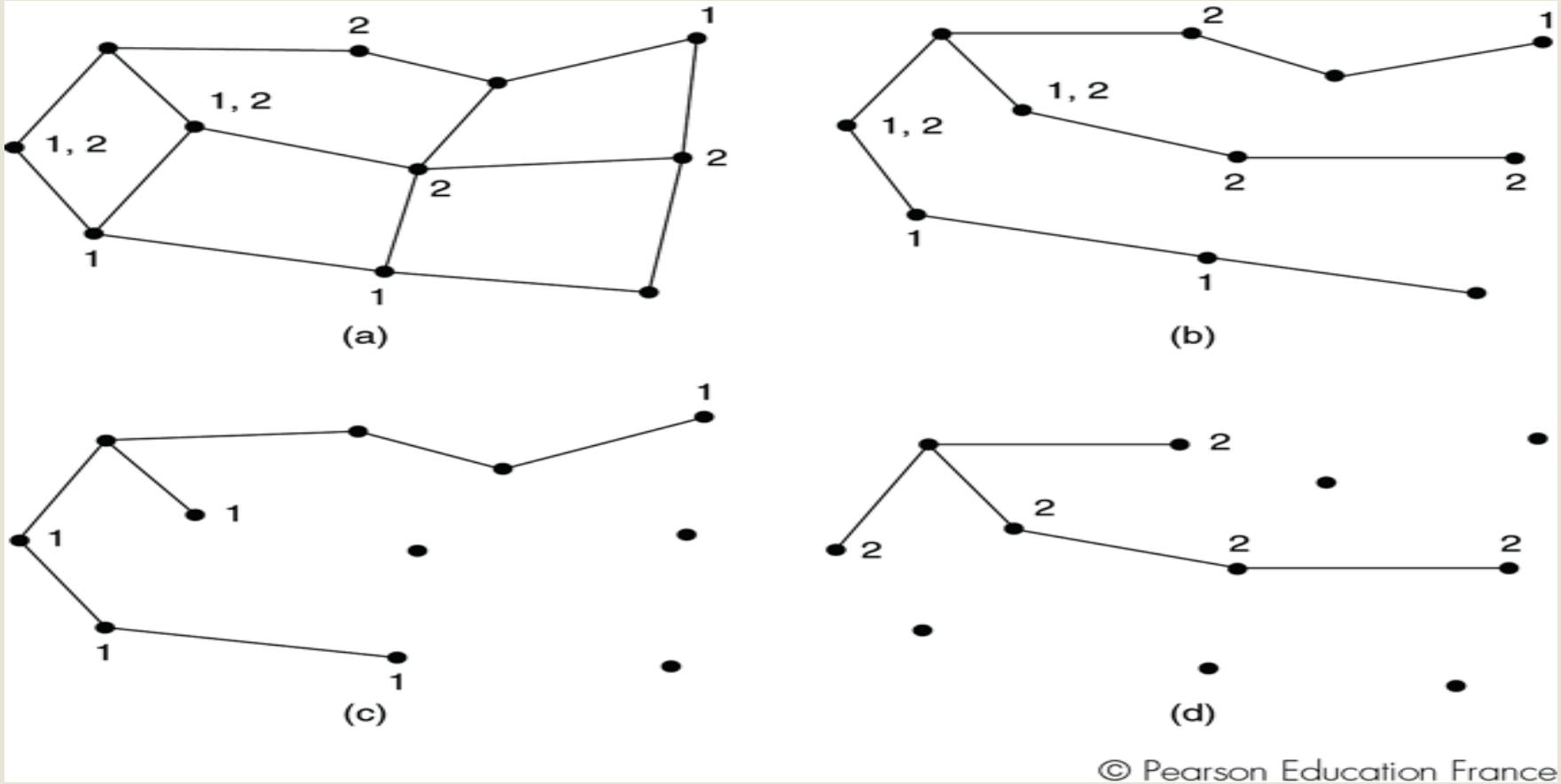
Cas de routage par état des liens

Facile car connaissance totale du réseau et connaissance des groupes

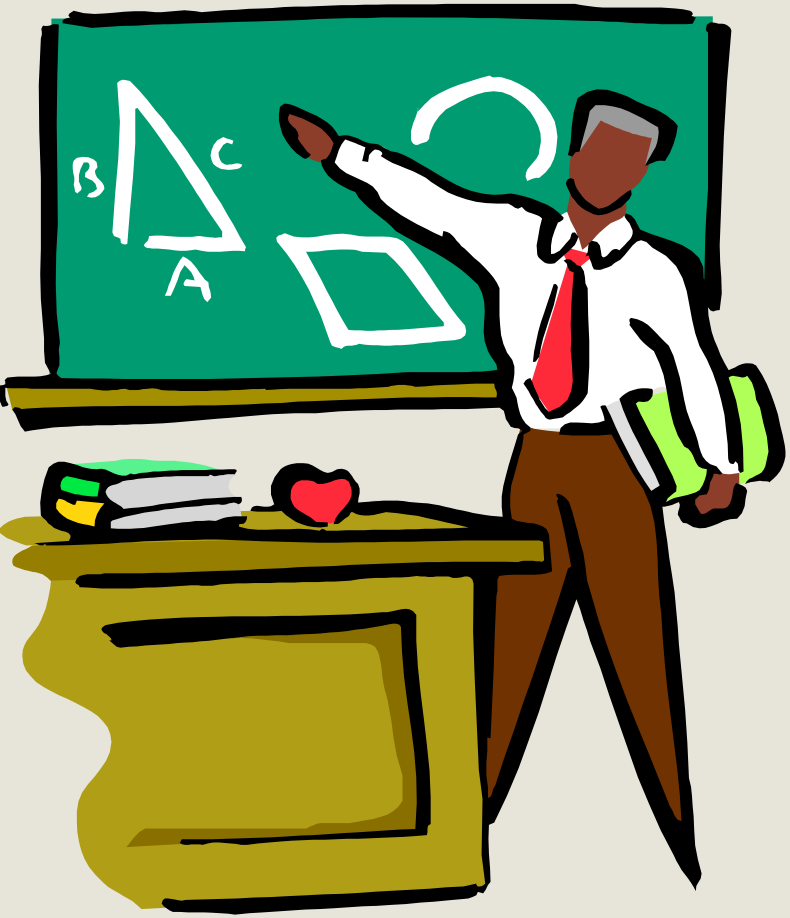
Parcours commencant par la fin et remontant vers la racine et elagage de tous les routeurs qui ne participent pas au routage pour le group concerné

Routage multicast ...

Routage multicast



Controle de congestion



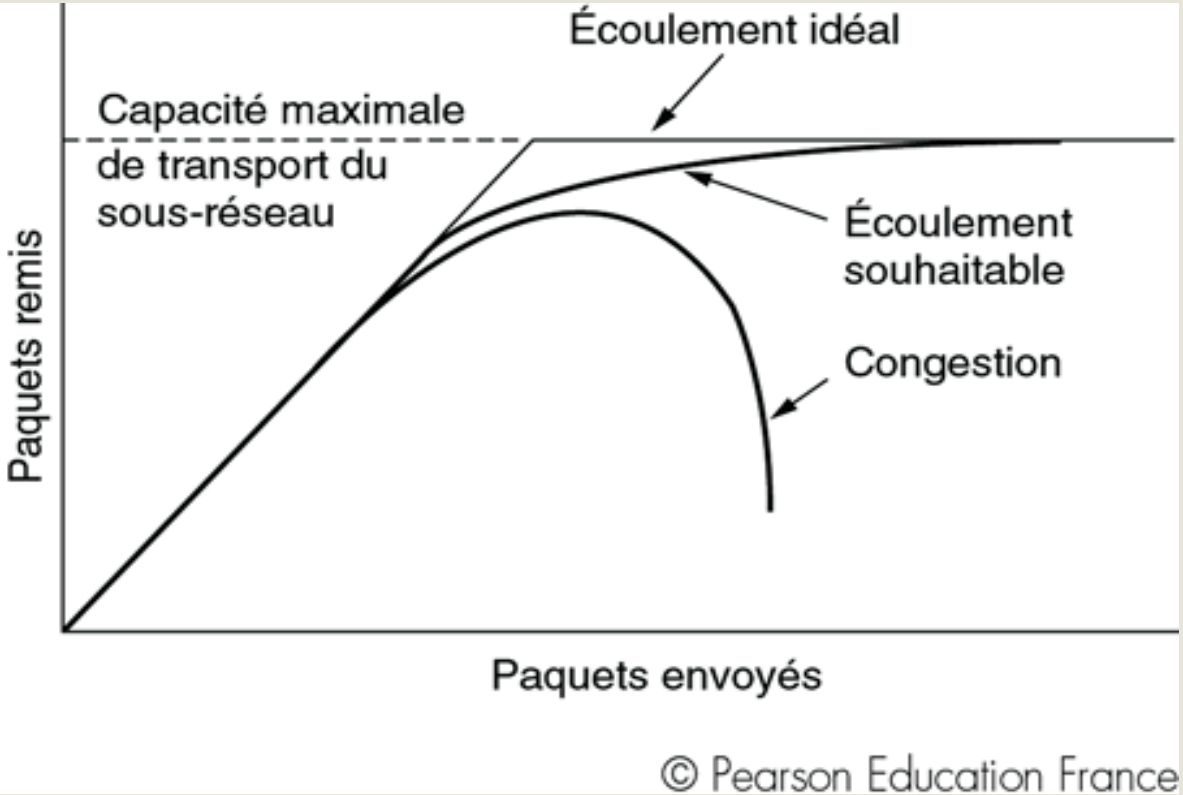
1. Principes de base
2. Boucle fermée
3. Boucle ouverte
4. Cas des sous-réseaux de circuits virtuels
5. Cas des sous-réseaux de datagrammes

Principes de base ...

- Congestion
  - Plus de paquets que le sous-réseau ne peut traiter
  - Resultat:
    - dégradation de performance
  - Facteurs:
    - Pas assez de mémoire
    - Expiration de la validité des paquets meme si memoire infinie
    - Processeurs lents
    - Ligne a faible bande passante

Principes de base ...

Congestion



Principes de base ...

- Congestion
  - Boucle ouverte
    - Eviter que le problème ne se produise
  - Boucle fermée
  1. Détecter quand et ou
  2. Informer les noeuds qui peuvent agir
  3. Agir

Boucle fermée ...

Exemples de métriques pour détection

- Pourcentage de paquets éliminés par manque d espace
- Longueurs des files d attente
- Nombre de paquets retransmis par cause de délai expiré

Exemples de méthodes pour communiquer l information

- Paquets spéciaux
- Bits dans paquets ordinaires

Agir

- Augmenter les resources (ex: augmentation de la puissance d émission d un satellite, utilisation de routeurs de secours)
- Diminuer la charge (e.g. délestage)

Boucle ouverte ...

Stratégies au niveau réseau

- circuits virtuels vs. datagrammes
- Stratégies de files d attente et de services (e.g. paquets prioritaires)
- Délestage
- Gestion de la durée de vie des paquets
- Algorithme de routage (e.g. répartition optimale de traffic sur toutes les voies possibles)

Cas des sous réseaux de circuits virtuels ...

Controle d admission

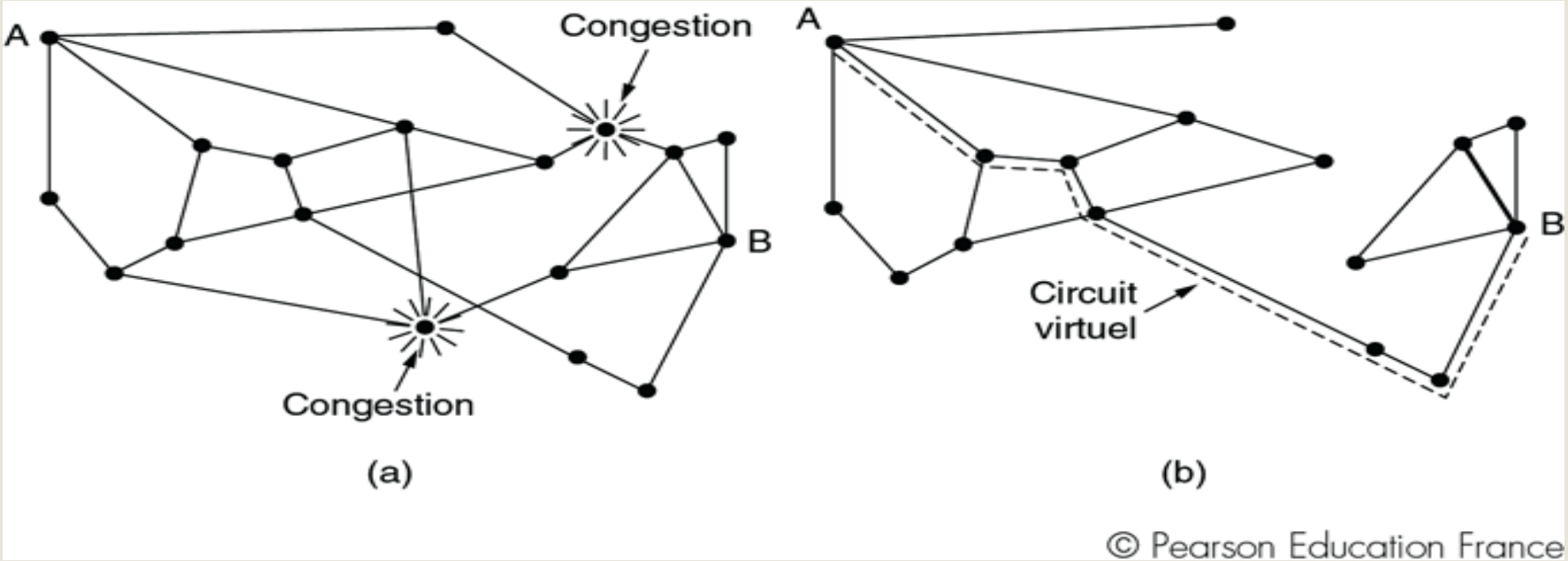
- Eviter d établir de nouveaux circuits quand il y a congestion
- Brutale, mais simple a appliquer

Contournement des zones de congestion

- Etablir de nouveaux circuits quand il y a congestion
- Eviter les zones de congestion

Cas des sous réseaux de circuits virtuels ...

Contournement des zones de congestion



Cas des sous réseaux de datagrammes ...

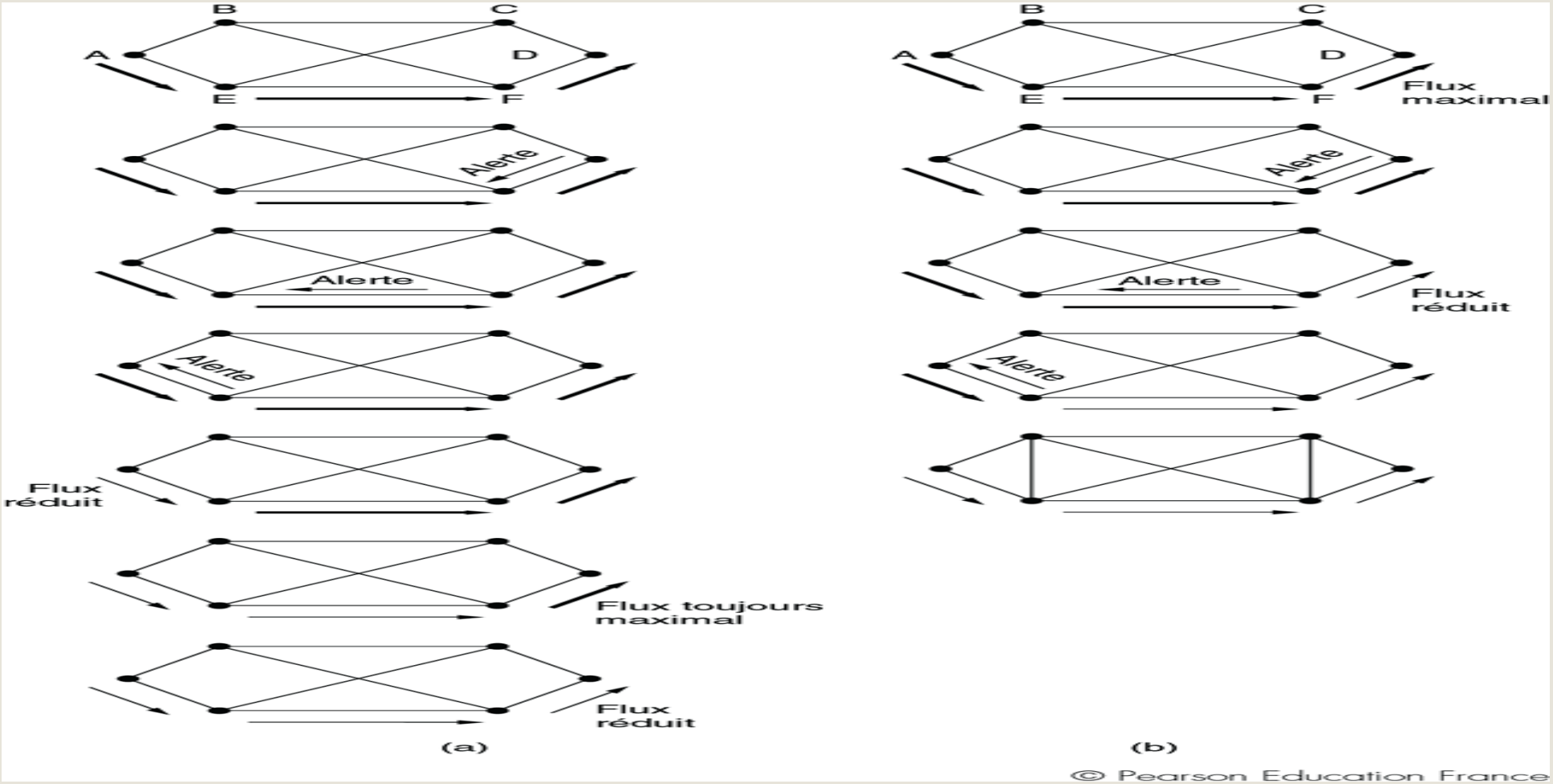
Paquet de rétention avec effet sur source (“choke packet”)

- **Routeur sur un itinéraire surchargé**
  - **Envoie a la source un paquet avec adresse de destination**
  - **Active un bit dans paquet original pour que routeurs en aval ne génerent de nouveaux choke paquets**
- **Source**
  - **Réduit traffic vers destination de X pour cent**
  - **Ignore autres paquets recus pour destination pendant un intervalle défini**

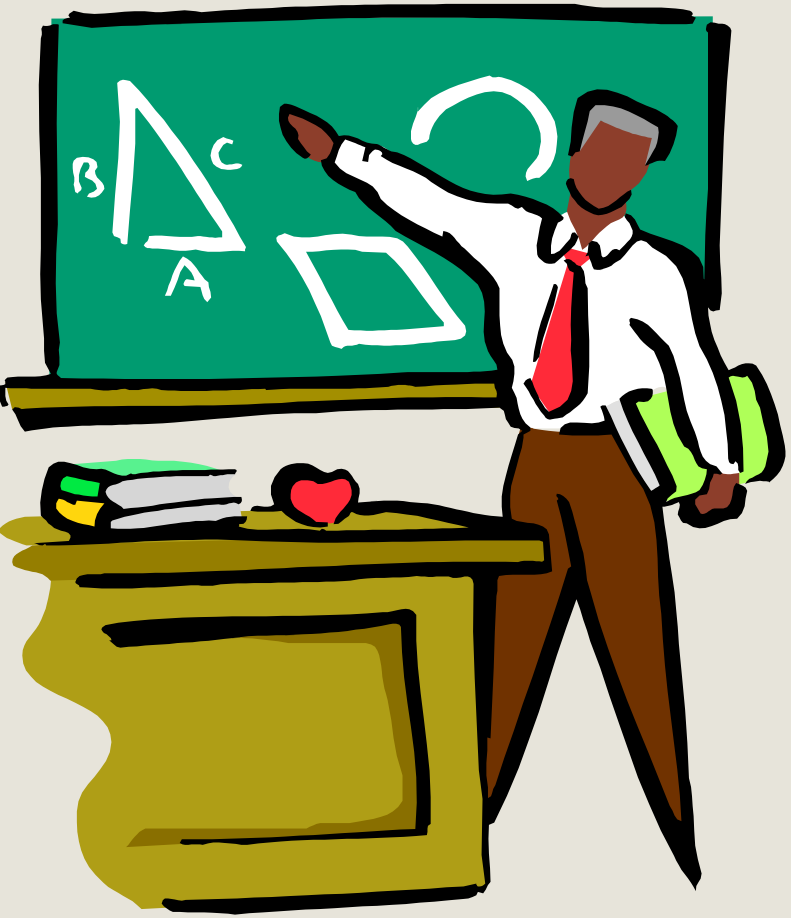
Cas des sous réseaux de datagrammes ...

- Paquet de rétention avec effet par pallier
- Plus efficace sur les réseaux longue distance a cause du temps mis par choke paquet pour aller a source
  - Routeur sur un itinéraire surchargé
    - Envoie a la source un paquet avec adresse de destination
    - Active un bit dans paquet original pour que routeurs en aval ne génerent de nouveaux choke paquets
  - Noeud sur chemin du choke packet
    - Réduit traffic vers destination de X pour cent
    - Ignore autres paquets recus pour destination pendant un intervalle défini

Cas des sous réseaux de datagrammes ...



Qualité de service



1. Principes de base
2. Services intégrés
3. Services différenciés
4. Cas des sous-réseaux de circuits virtuels
5. Cas des sous-réseaux de datagrammes

Principes de base ...

Qualité de services (QoS – Quality of Service)

- **Exigence des séquences de paquet traversant le réseau**
  - **Fiabilité**
  - **Délai**
  - **Guigue (jitter): Variation dans le temps d arrivée des paquets**
  - **Bande passante**

Principes de base ...

Qualité de services (QoS – Quality of Service)

- Exigence des séquences de paquet traversant le réseau
  - Courrier électronique
  - Transfer de fichier
  - Accès au Web
  - Session a distance
  - Audio a la demande
  - Vidéo a la demande
  - Téléphonie
  - Vidéo conférence

Early attempts: Integrated Service Architecture - IntServ …

Provide end to end QoS guarantees

Service classes

1. Guaranteed service

- Hard guarantee on delay and bandwidth
- Parameters provided by application
  - Peak rate
  - Packet size
  - Burst size

2. Controlled load

- Softer version of guaranteed service
- Guarantee that the QoS is equivalent to what it would have been if the network is not overloaded
- May not meet some of the hard requirements (e.g. delay)

Integrated Service Architecture - IntServ …

Requirements on each router in the path:

1. Policing
2. Admission control
3. Classification
4. Queuing and scheduling

Resource Reservation Protocol - RSVP …

Soft state signaling protocol used in InServ for uni-directional resource reservation

Rely on two messages:

PATH
- Propagated from sender to receiver

RESV
- Propagated in the opposite direction

Integrated Services …

Disadvantages

- Require major new software and firmware in routers
- Major overhead due to flows management
  - Flows are quite similar to telephone calls
    - Set up
    - Tear down

Differentiated services - DiffServ …

Aim at addressing IntServ drawbacks by focusing on traffic aggregates instead of individual flows:

Scalability

- No need for router to maintain flow states
- No for refreshment messages due soft-state

Lack of general applicability

- Work even if every router in the path does not support it

No need for applications to support new APIs

Differentiated services - DiffServ …

Fundamental principle: A code point – Differentiated service code point (DSCP) to tell routers how to treat a packet relatively to other packets

Per hop behaviour (PHB)

- Default
- Expedited forwarding
- Assured forwarding

Routers use PHB to drop/ prioritize packets on their output queue

Differentiated services - DiffServ …

The two approaches:

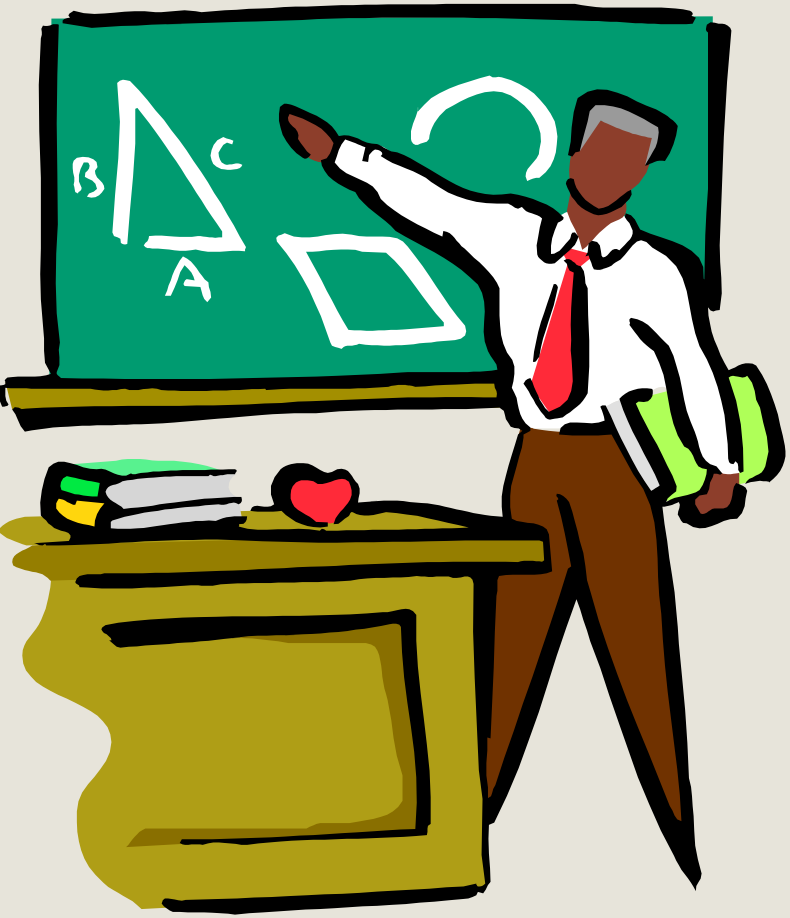
Absolute service differentiation

- Try to meet IntServ goals, but:
  - **Without per-flow state**
  - **With static / semi-static resource reservation**

Relative service differentiation

- **Lower level of ambition**
- **Just ensure that relative priorities are respected**

Couche réseau dans Internet de service



1. Principes essentiels
2. Protocole IP
3. Routage interne
4. Routage externe

Principes de base ...

Principes essentiels

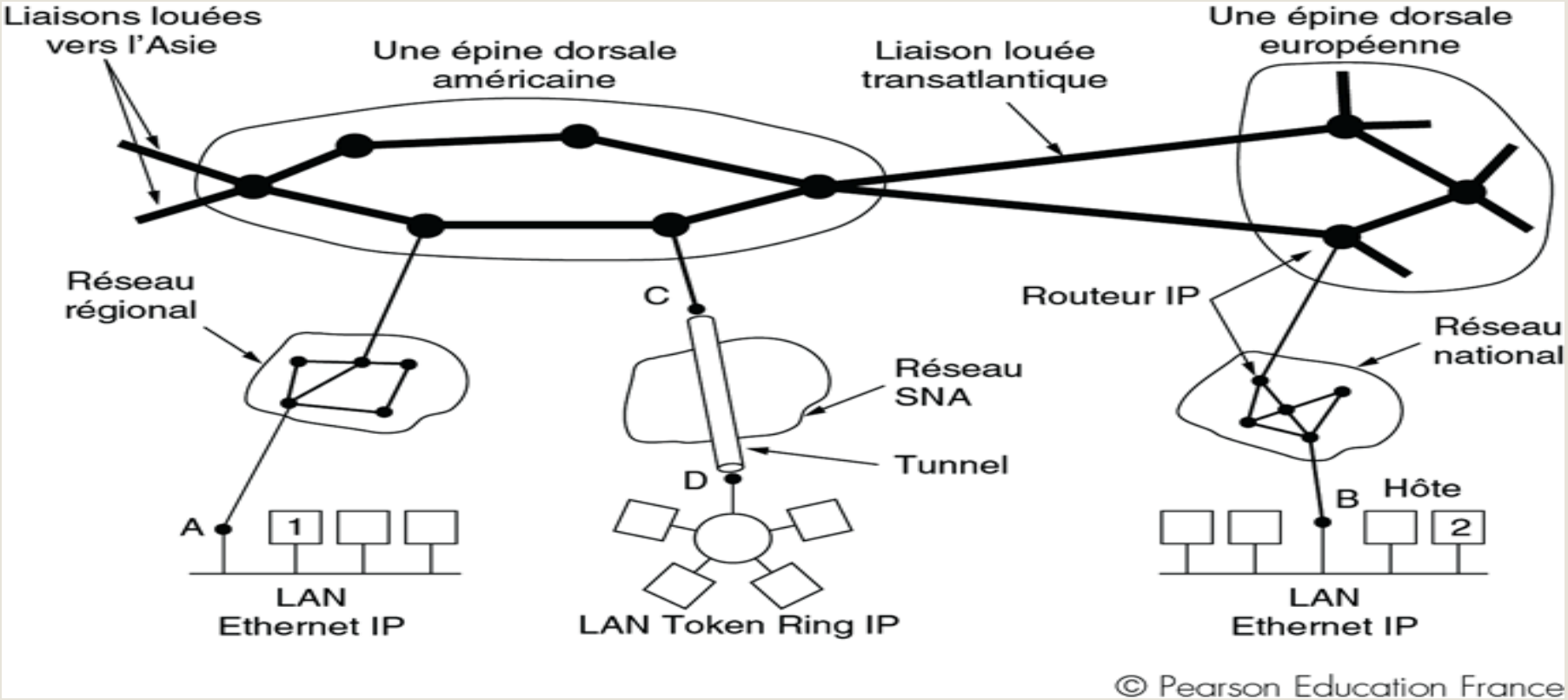
1. **S assurer que tout fonctionne**
2. **Privilégier la simplicité**
3. **Faire des choix**
4. **Exploiter la modularité**
5. **Anticiper l hétérogénéité**
6. **Eviter les options et les paramètres statiques**
7. **Rechercher une conception efficace mais pas parfaite**
8. **Penser a l évolutivité**
9. **Etre sévère lors de l envoie et tolérant lors de la réception**
10. **Considérer les performances et les couts**

Principes de base ...

- **Internet**
  - **Ensemble de sous-réseaux, ou systèmes autonomes (AS – autonomous systems) indépendants indépendants interconnectés**
    - **Epines dorsales (backbones)**
      - **Artères de communications a haut débit**
      - **Routeurs très rapides**

Principes de base ...

Internet

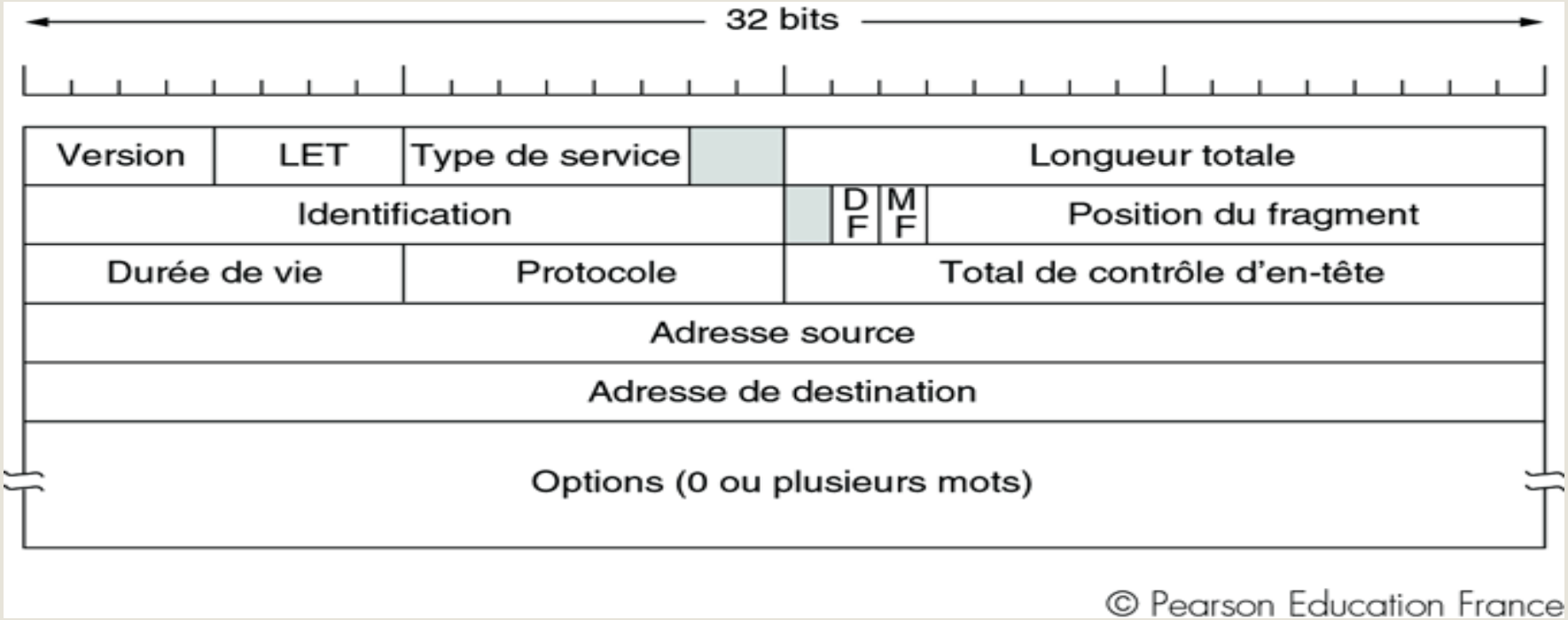


Protocole IP ...

- Internet Protocol (IP)
  - Protocole d interconnection
    - Fait de son mieux pour délivrer
    - Couche transport découpe en datagrammes
      - Taille maximale des datagrammes: 64 ko
      - Datagrammes acheminés par Internet
      - Peuvent etre fragmentés en chemin
        - Re- assemblage a la destination
  - Version de base: IPv4
  - Version la plus récente: IPv6

Protocole IP ...

Internet Protocol (IP)



Protocole IP ...

- Version
- LET: Longueur de l en-tete en mots de 32 bits
- Type de service: Concu pour qualité de service mais pas utilisé en pratique
- Identification
- Don t fragment
- More fragments
- Options
  - Routage strict par la source
  - Enrégistrement de route
  - Horodotage (time stamp)

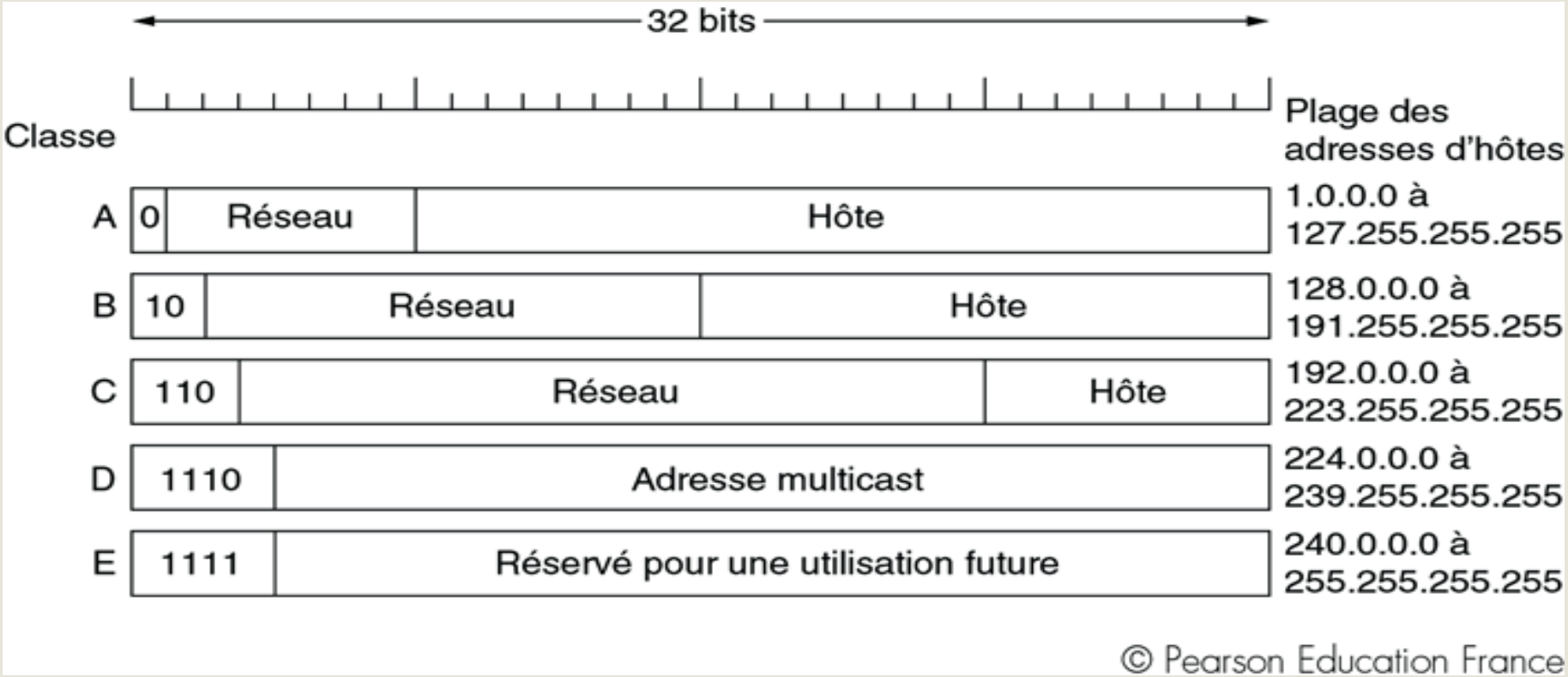
Protocole IP ...

- **Adresse IP: Chaque routeur et chaque hote**
  - **32 bits: numero de réseau et numero d hote**
    - **Numero de réseau géré par un organisme a but non lucratif**
    - **ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)**
      - **Délégation aux autorités régionales**

- **Adressage par classes (classful addressing)**
- **A**
- **B**
- **C**
- **D**
- **E**

Protocole IP ...

Adressage par classes (classful addressing)



Protocole IP ...

Adresses particulières

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		Cet hôte
0 0 . . . 0 0	Hôte	Un hôte sur ce réseau
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		Diffusion broadcast sur le réseau local
Réseau	1 1 1 1 . . . 1 1 1 1	Diffusion broadcast sur un réseau distant
127	(Valeur quelconque)	Bouclage

© Pearson Education France

Routage interne ...

- Routage a l intérieur des systèmes autonomes
  - Facilite fonctionnement d Internet mais n est pas une nécessité absolue
  - Historique
    - Vecteur de distance: Jusqu en 1979
    - Etat de lien: de 1979 – 1990
    - Open Short Path First (OSPF)
      - Depuis 1990
      - Norme Internet (RFC 2328)
      - Supportée par la plupart des routeurs
      - Implantée dans la plupart des systèmes autonomes

Routage interne ...

OSPF

Requis principaux

1. Ouverture: Spécifications disponibles dans le domaine public
2. Variété de métriques
3. Dynamicité
4. Routage en fonction du type de service
5. Equilibrage de charges (Paquets ne prennent pas nécessairement le chemin le plus court)
6. Systèmes hiérarchiques
7. Sécurité
8. Support des principaux types de connexions et de réseaux

Routage interne ...

OSPF

Fonctionnement général

- Abstraction du réseau en graphes
- Découpage en zones numerotées (Epine dorsale – numero 0 – relie toutes les autres zones)
- Base de données dans chaque routeur (routeur interne, interzones, fédérateurs – sur épine dorsale, inter-systèmes autonomes)
- Base de données mise a jour par inondation

Routage interne ...

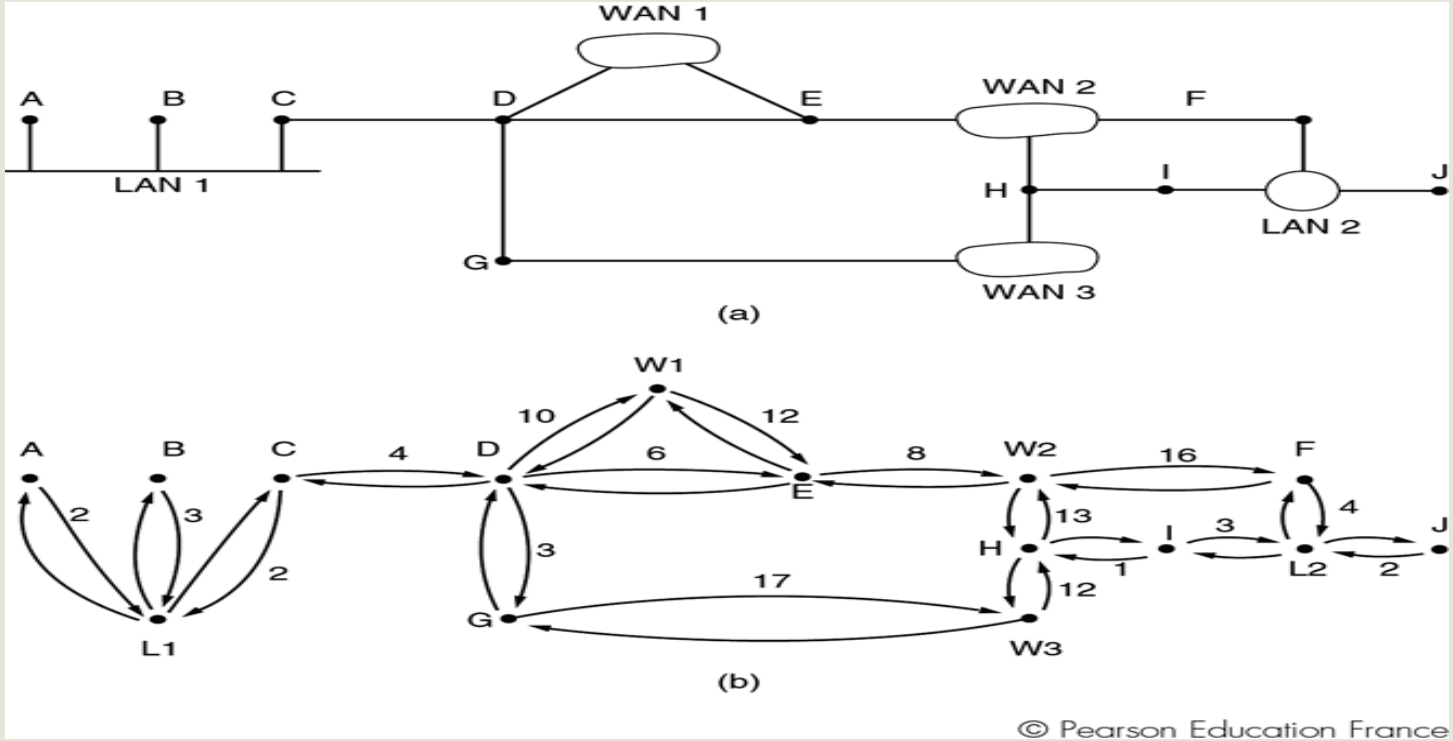
OSPF

Messages

- Hello
- Mise a jour d état de lien: Cout depuis le routeur vers ses voisins
- Acquitement
- Description de base de données: Annonce mise a jour (Envoie par inondation)
- Demande d état de lien

Routage interne ...

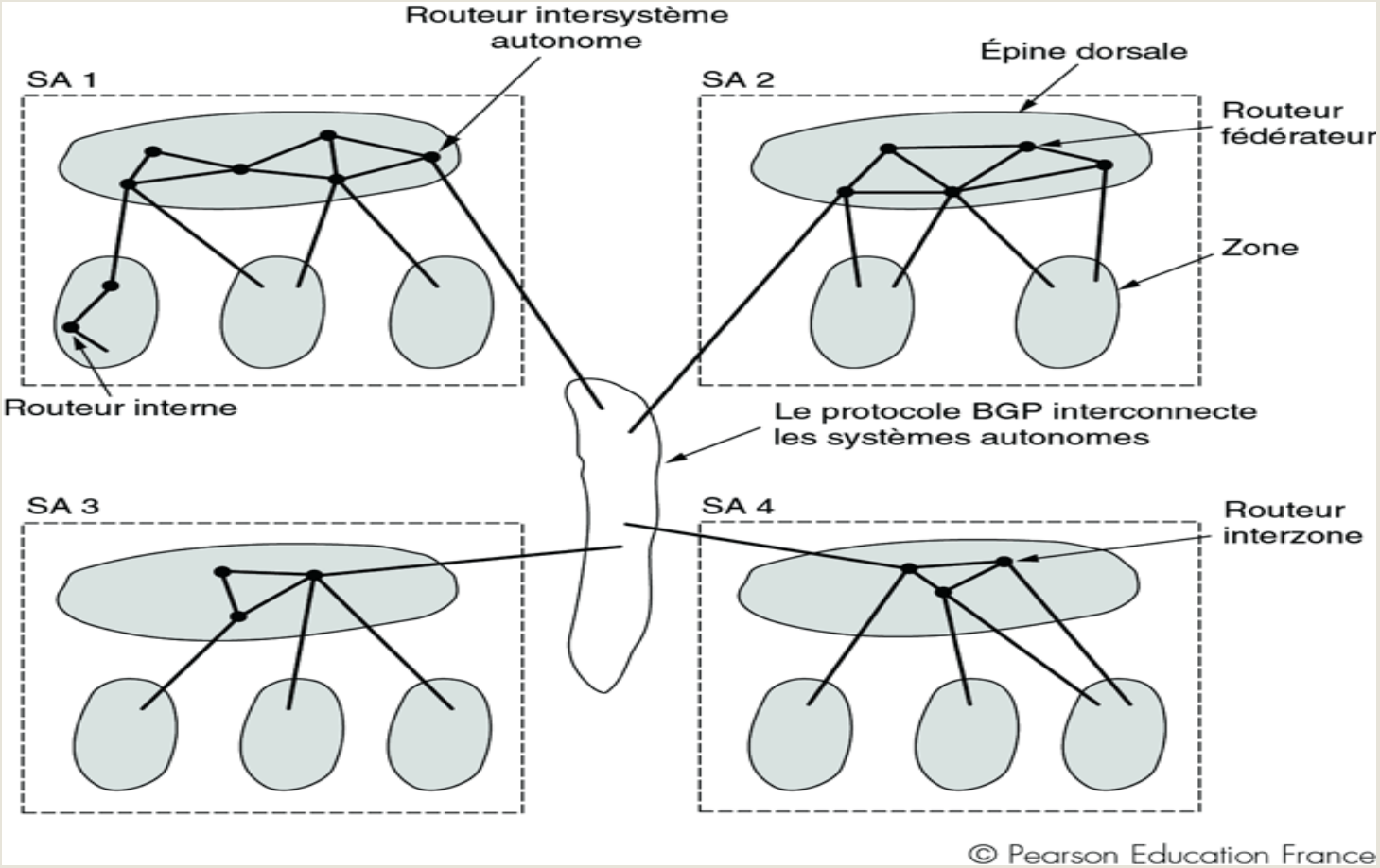
OSPF



© Pearson Education France

Routage interne ...

OSPF



Routage externe ...

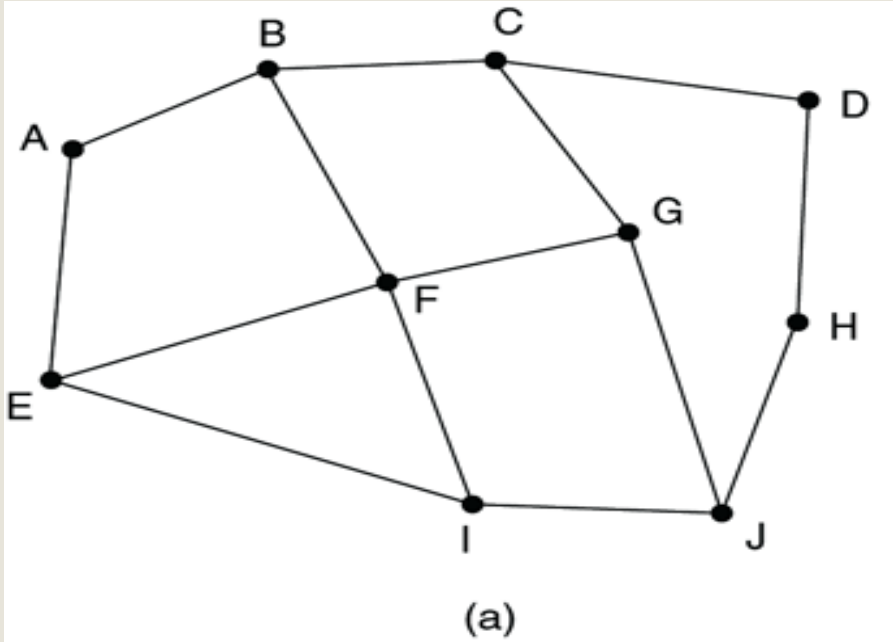
- Routage entre systèmes autonomes (inter-systèmes)
  - Soumis a des contraintes politiques et de sécurité configurées manuellement
  - Exemples:
    - Traffic sortant d une compagnie ne doit pas passer par une compagnie conccurente
    - Traffic ne doit pas passer par pays “instables”
- Protocole utilisé: Border Gateway Protocol (BGP)
  - Version amiliorée de l algorithme vecteur de distance

Routage externe ...

- BGP
  - Réseau sans issue:
    - Ne peuvent pas servir a l acheminement de traffic (une seule connexion sur le graphe BGP)
  - Réseau multiconnectés:
    - Servent a l acheminement sauf indication contraire
  - Réseau de transit:
    - Servent a l acheminement, généraelement moyennant finance

Routage externe ...

BGP



(a)

Informations reçues par F de la part de ses voisins à propos de D

De la part de B : «J'utilise BCD»
De la part de G : «J'utilise GCD»
De la part de I : «J'utilise IFGCD»
De la part de E : «J'utilise EFGCD»

(b)

© Pearson Education France

Références ...

1. A. Tanembaum, Réseaux, 4eme édition, Pearson Education 2003 (Chapitres 3)
2. R. Glitho, Routing in Telecommunications Networks, in the Forehlich / Kent Encyclopedia of Telecommunications, Vol. 15, Marcel Dekker, Inc. 1997

.