

Protocoles réseaux

TD n. 10

Multicast

- ✚ Lors d'une communication téléphonique, les données émises sont reçues une seule fois, par un seul destinataire : on parle de **communication 1-1** ou **communication unicast**.
- ✚ Lors de la diffusion d'un programme de télévision, par contre, les données sont émises une seule fois mais reçues plusieurs fois, par plusieurs récepteurs : on parle de **communication 1-n**, de **diffusion**, de **multidiffusion** ou encore de **communication broadcast**.

Paradigmes de communication 1-n

En **commutation de paquets**, il existe trois paradigmes principaux de communication 1-n :

- **Le broadcast**, où un paquet est émis à destination de toutes les interfaces du lien local, et les hôtes qui ne sont pas intéressés ignorent le paquet reçu ;
- **Le multicast**, où un paquet est émis à destination d'un ensemble d'interfaces, appelé un groupe multicast ; c'est le destinataire qui décide s'il appartient au groupe (on dit qu'il est abonné au groupe), et l'émetteur n'en connaît pas forcément tous les membres ;
- **Le multi-unicast**, où un paquet est émis à destination d'un ensemble d'adresses unicast spécifié par l'émetteur ; une émission multi-unicast est donc équivalente à plusieurs émissions unicast, mais peut être plus efficace.
Le multi-unicast n'est supporté ni par IPv4 ni par IPv6

Routage multidestinataire ou multicast

Les protocoles de couche Transport et de couche Réseau étudiés jusqu'ici avaient pour fonction l'expédition de paquets entre un expéditeur et un destinataire unique. Ces protocoles sont connus sous le nom de protocoles de **diffusion en point-à-point**, ou **individuelle** (*unicast*).

Or, de nouvelles applications de réseau reposent sur l'expédition de paquets entre un ou plusieurs expéditeurs et un *groupe de destinataires*. Parmi ces applications, il faut citer le transfert de données en gros volume (par exemple, transfert de la nouvelle version d'un logiciel entre un développeur et ses clients), le transfert de données multimédia en flux continu (transfert de la version audio, vidéo ou textuelle d'un cours à des étudiants éloignés ou vidéoconférence destinée à un grand nombre de participants), des applications de partage de données (*shared data applications*), les alimentations en données spécialisées (cotations boursières), les mis à jour de la mémoire cache et les jeux interactifs (environnements virtuels distribués ou jeux en réseau de type Quake). Le terme générique employé pour toutes ces applications est celui de **diffusion multidestinataire**, ou **multicast**, faisant référence à l'envoi de paquets d'un expéditeur à plusieurs destinataires à la fois.

Contrairement à la diffusion en point-à-point, la diffusion multicast sur internet *n'est pas* un service sans connexion. Elle repose en effet sur la génération, la mise à jour et la suppression d'indications d'état au niveau des routeurs chargés du transfert des paquets vers les membres des "groupes multicast", ce qui nécessite une combinaison de différents protocoles de signalisation et de routage.

Source : James W. Kurose, Keith W. Ross. Computer Networking, A Top-Down Approach. (Edition française)

Exercice 1

On considère le réseau de distribution ci-dessous.

Le nœud X à la racine de l'arbre distribue des paquets à toutes les feuilles y_1, \dots, y_9 .

Dans cet exercice, on définit le coût de la distribution comme étant le nombre de liens traversés par des paquets (si on envoie deux fois le même paquet sur un lien, on le compte deux fois).

Réseaux de distribution de contenu

(CDN : Content Distribution Network / Content Delivery Network)

La bande passante est la clé de l'amélioration des performances, mais elle ne constitue qu'une partie de la solution. Afin de réduire les délais interminables, les chercheurs ont mis au point différentes architectures visant à adapter l'utilisation de la bande passante à la diffusion de contenu.

L'une de ces architectures est connue sous le nom de réseau de distribution de contenu, ou CDN. Un fournisseur place un ensemble de machines distribuées en différents emplacements stratégiques au sein de l'Internet et les exploite pour du servir du contenu aux clients.

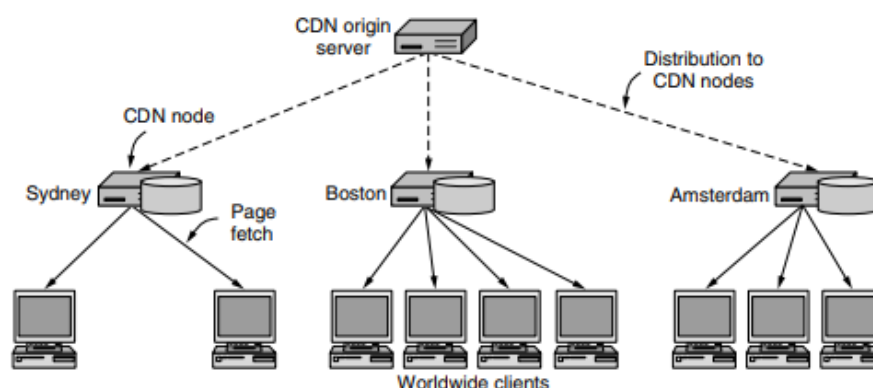


Figure 7-67. CDN distribution tree.

Source : Andrew Tanenbaum, David Wetherall. Computer Networks.. (Edition française)

Trois modes de diffusion multicast

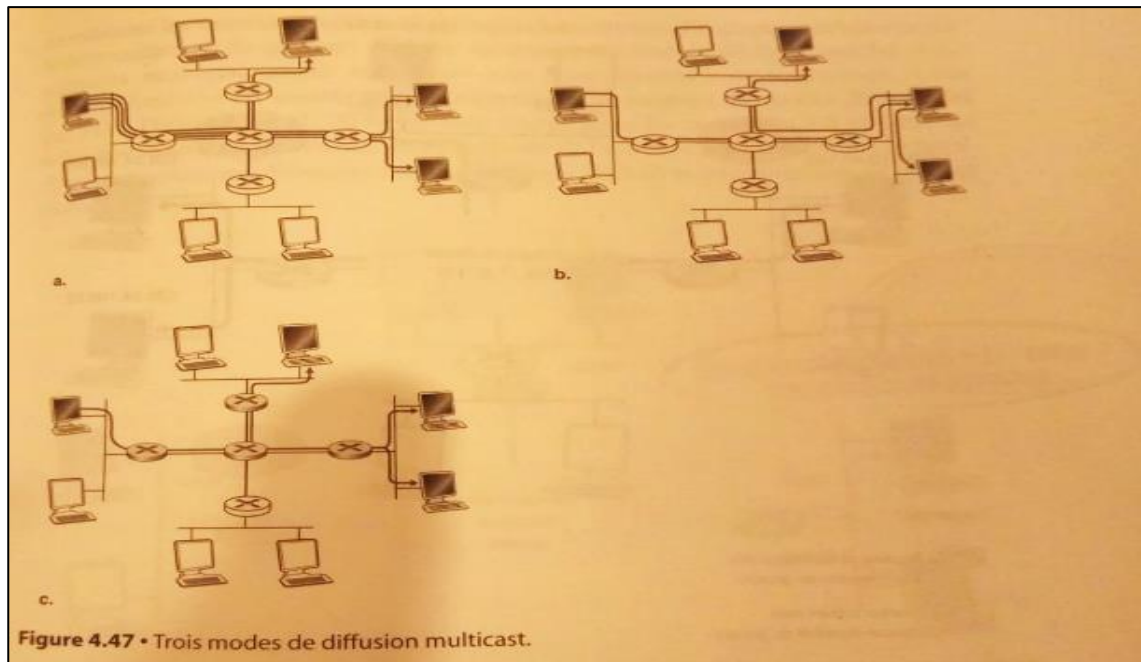
Du point de vue réseau, le concept de multicast, appelé aussi diffusion sélective, est une simple opération d'envoi desservant plusieurs destinataires qui peut prendre plusieurs formes différentes :

- **Diffusion d'un vers plusieurs** : Ici, l'expéditeur a recours à une connexion de transport unicast différente pour chacun de ses destinataires. Les unités de données de couche Application arrivant à la couche Transport sont dupliquées chez l'expéditeur et transmises sur chacune des connexions individuelles. Cette approche met en œuvre la forme multicast "d'un expéditeur vers plusieurs destinataires" par le biais de la couche Réseau unicast sous-jacente, mais sans le besoin explicite du support de la couche Réseau pour édifier le concept de multicast. Ceci est illustré à la figure (a). Dans cet exemple, l'expéditeur a recours à une connexion unicast différente pour chacun de ses trois destinataires.
- **Diffusion sélective par la couche Application** : Cette forme de multicast a également recours à des transmissions de type unicast, mais implique les destinataires dans la réplication à tous les destinataires du groupe ciblé, il ne les transmet qu'à certains d'entre eux, qui sont ensuite chargés de les faire suivre aux autres membres du groupe, qui eux-mêmes devront participer à la chaîne de distribution, et ainsi de suite. Ceci implique que les destinataires mettent en place et maintiennent une infrastructure de distribution de couche Applications, comme illustré à la figure (b). Dans cet exemple, un datagramme est diffusé de l'expéditeur vers un simple destinataire, situé en haut à droite de la figure. Ce dernier fait deux copies du datagramme : il diffuse la première à l'autre poste du réseau local auquel il est relié et la seconde à un simple destinataire relié au réseau local supérieur.
- **Diffusion sélective explicite** : La troisième mode de diffusion sélective consiste à procurer un support multicast explicite à la couche Réseau. Dans ce cas, l'expéditeur ne transmet *qu'un seul datagramme*, qui sera répliqué au niveau du *routeur* de réseau pour être transmis sur plusieurs liaisons de sortie en direction de ses différents destinataires. Cette approche est illustrée à la figure (c), dans laquelle les routeurs grisés indiquent qu'ils prennent part activement à la diffusion multicast. Dans cet exemple, l'expéditeur transmet un seul datagramme. Celui-ci est ensuite dupliqué par un routeur au sein du réseau, qui transmet une copie au poste situé tout en haut de la figure et aux deux hôtes situés à droite. Au niveau du dernier routeur (à droite), le datagramme multicast est transmis sur la liaison Ethernet qui le relie à ces deux destinataires.

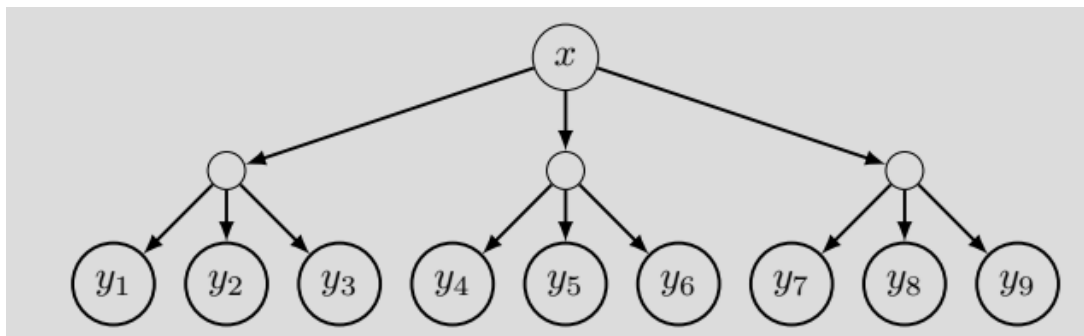
Il ne fait aucun doute que cette dernière approche utilise le débit disponible du réseau de manière plus efficace dans la mesure où les différentes liaisons ne

véhiculent jamais plus d'une *seule* copie des datagrammes envoyés. En revanche, elle implique un support considérable pour préparer la couche Réseau au multicast.

Dans le même ordre d'idées, le multicast sur la couche Application est potentiellement plus efficace que la diffusion de un à plusieurs, mais requiert toute une infrastructure pour mettre en place et conserver l'architecture de distribution sur la couche Applications.

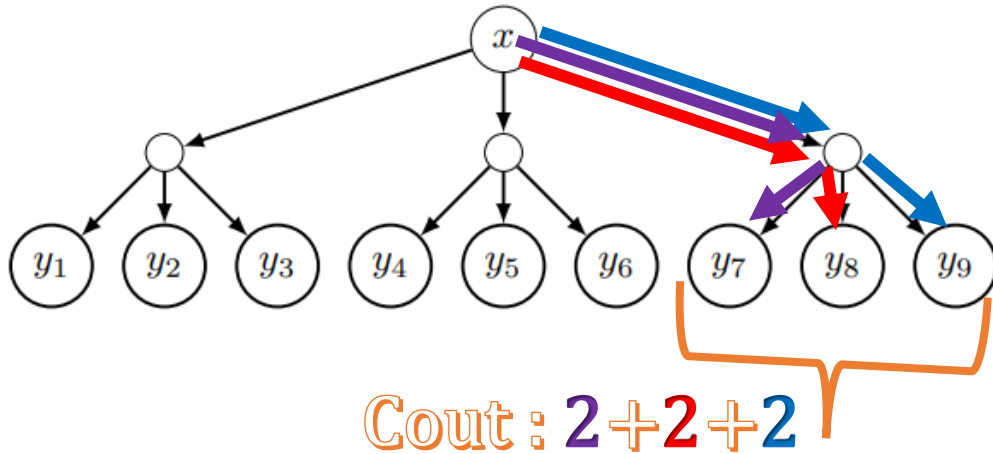


Source : James W. Kurose, Keith W. Ross. Computer Networking, A Top-Down Approach. (Edition française)



#1

Si x fait de l'unicast, quel est coût total pour envoyer une copie d'un paquet à chaque feuille ?



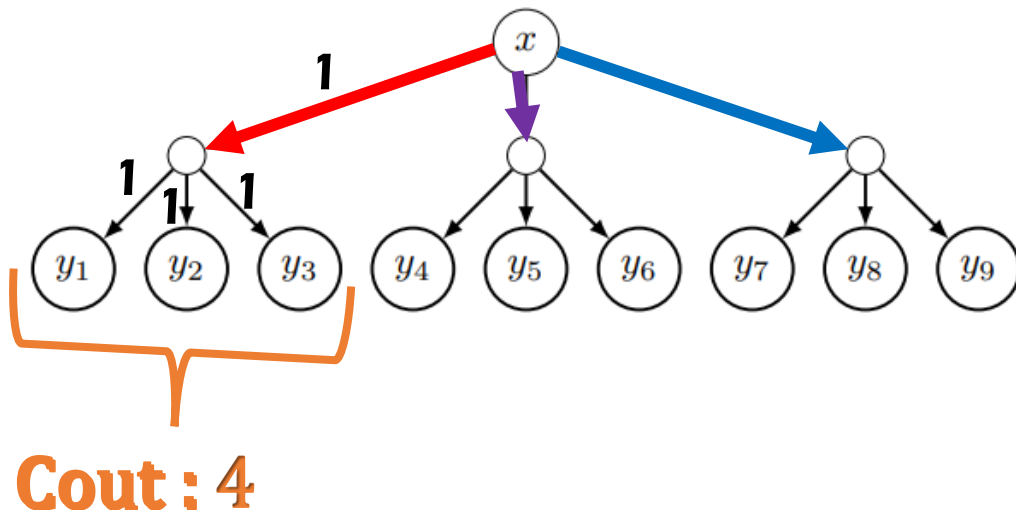
Le résultat en fonction de n , le nombre de feuilles : $2n$

Cout total : 18

#2

Si x fait du multicast, quel est coût total pour envoyer une copie d'un paquet à chaque feuille ?

- 3 paquets sort de x .
- En multicast chaque routeur duplique un paquet autant qu'il faut.



Cout total pour l'arbre : $3 \times 4 = 12$

Donc : plus efficace !

#3

Refaire les calculs lorsque le réseau est maintenant un arbre de hauteur h (l'arbre ci-dessus est de hauteur 2) dont chaque nœud intermédiaire a 3 fils. On exprimera le résultat en fonction de n , le nombre de feuilles.

Conclusion ?

Faut faire circuler combien de paquets / trames ? (il y a autant de trames que de paquets dans cet exercice).

- **Unicast** : on envoie à n destinataires. La longueur de la route est h .

Donc, le cout est $n * h = O(n \log n)$

- **Multicast** : au long de chaque arrêt circule un paquet.

Combien y'a-t-il d'arêtes ? (petit exo de math discret...)

$h = \log_3(n) \Rightarrow n = 3^h$ à chaque niveau on triple le nombre de nœuds.

Calcul de la somme 3^h $3 + 3^2 + 3^3 + \dots + 3^h$

$$\left(\sum_{i=0}^h 3^i\right) - 3^0 = \frac{3^{h+1}-1}{2} - 1$$

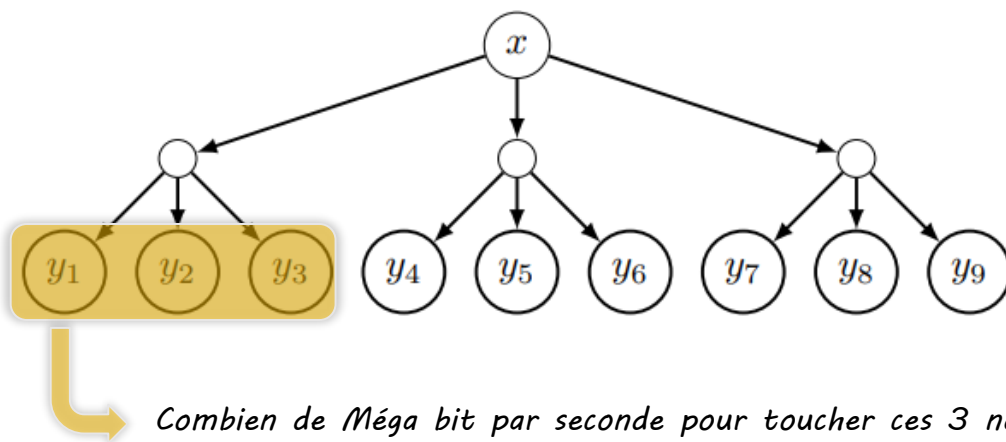
$$\boxed{\sum_{i=0}^n x^i = \frac{1-x^{n+1}}{1-x}}$$

$$n = 3^h \Rightarrow \frac{3n-3}{2} = O(n)$$

X distribue maintenant un flux vidéo d'un débit constant de **5 Mb/s**.

#4

Quel est le débit maximal sur un lien, dans le cas de l'unicast et du multicast ?



- **En multicast** : indépendant de n . Quel que soit n , le débit maximal et le débit minimal c'est **5 Mb / s** sur chaque lien.
- **En unicast** : Ça dépend du nombre de personnes auquel je distribue mon flux. *A compléter..*

#5

Le nœud X est relié à l'Internet par de la fibre à 1Gb/s.
Combien de clients peut-il desservir ?

En multicast, quelle est la valeur maximal de n ? ∞

Comme ce qui circule sur chaque lien ne dépend pas du nombre de clients (fibre optique), je peux avoir autant de clients que je veux.

En unicast,

$$\frac{5n}{3} \leq 1000$$

*Le débit
en Mb/s
pour
n clients*

$$n \leq \frac{5000}{3} \leq 600$$

Je peux avoir 600 clients au maximum.

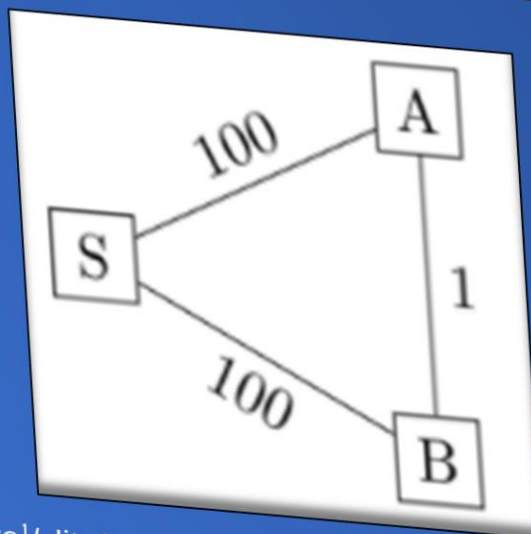
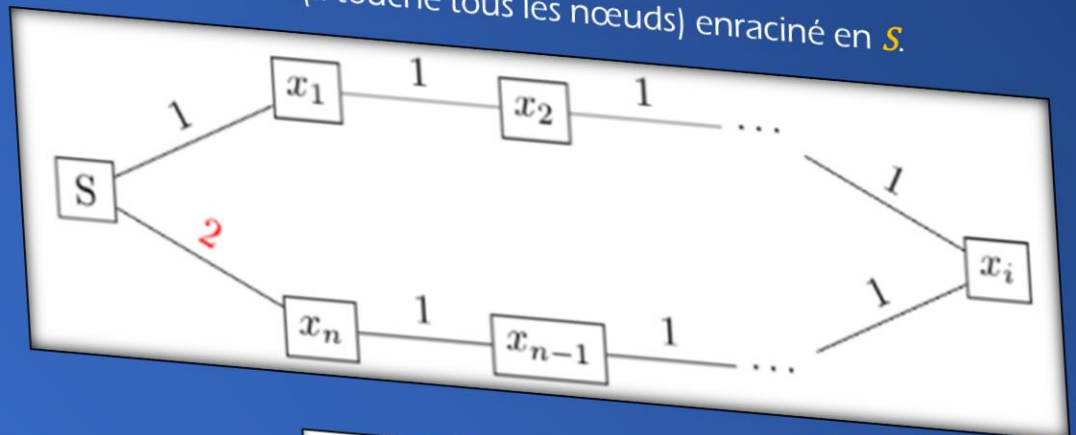
Modalité : les fournisseurs accès Internet qui fournisse la TV on internet à fournir de multicast. La TV est en multicast chez Orange, Free, etc. Sinon, le FAI n'arrivera pas à servir tous les clients aux heures de pointes (20h par exemple).

En gros, le multicast :

- Envoyer un gros débit à tout le monde (comme la TV)
- Envoyer à un public indéterminé.

Exercice 2

On considère les deux réseaux suivants,
où **S** envoie des paquets en multicast à tous les autres nœuds.
On veut construire un arbre de distribution,
qui est un arbre couvrant (il touche tous les nœuds) enraciné en **S**.



On considère un arbre¹ (dit des chemins minimaux) de distribution
construit à partir des plus courts chemins entre **S** et chaque nœud,
par un algorithme tel que Dijkstra.

¹ Cet arbre n'est pas unique car il peut y avoir plusieurs plus court chemins différents.

Dans l'exercice 1, l'arbre de distribution était donné, la
c'est à nous de le créer.

On a vu pendant ce semestre l'inondation : l'inondation est une forme de multicast (broadcast) ou tous les routeurs vont envoyer plusieurs fois le même message. On « arrose » tout le monde, donc c'est moins efficace.

#1

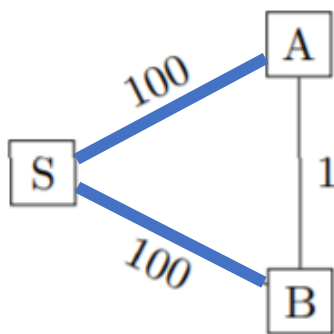
Calculez un tel arbre (un arbre de distribution construit à partir des plus courts chemins entre S et chaque nœud, par un algorithme tel que Dijkstra.) sur les deux réseaux ci-dessus.

Que peut-on dire ?

On va faire le plus court chemin entre la source et chaque nœud (donc, entre S et le reste du monde). Donc, on va utiliser Dijkstra.

Un Dijkstra depuis S dans le réseau de gauche

Je colorie en bleu les arrêtes de l'arbre que je prend

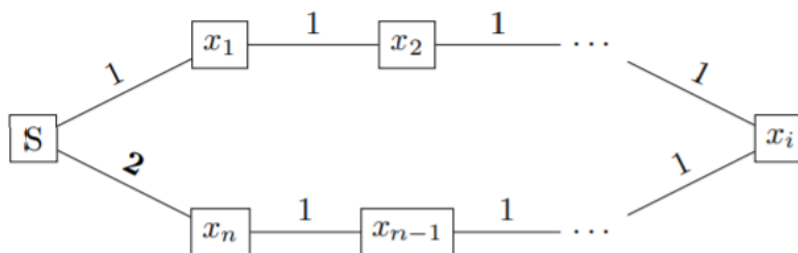


Plus court chemin de S vers les autres ?

On va garder SA et SB, je ne peut pas prendre AB car il va créer un cycle.

Cout : 200

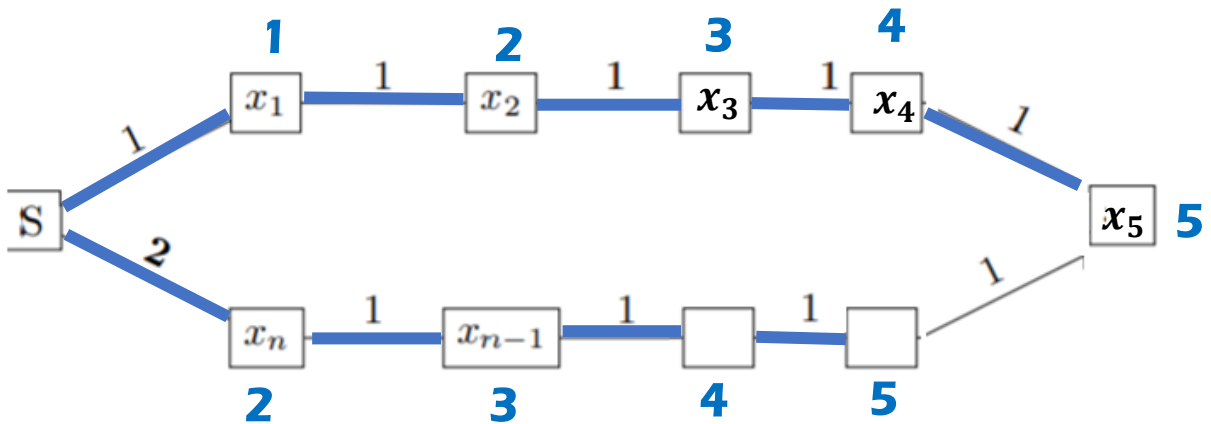
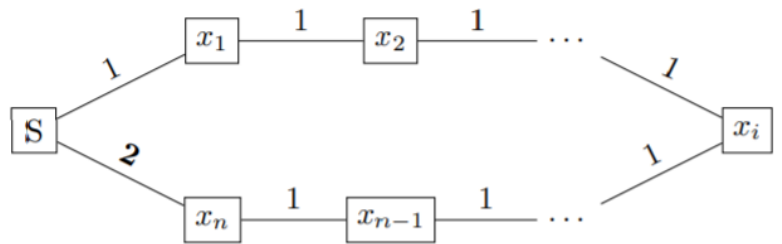
Un Dijkstra depuis S dans le réseau de droite



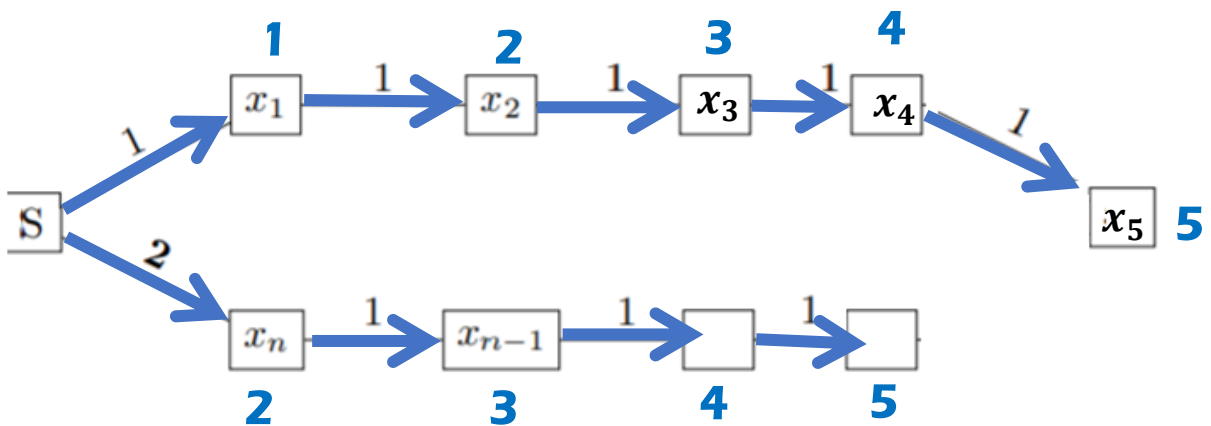
Dijkstra insère les nœuds par distance croissante :

S – distance de 0 de lui-même

- x_1 – distance de 1
- x_2 – distance de 2
- x_n – distance de 2
- x_3 – distance de 3
- x_{n-1} – distance de 3



Maintenant, on peut orienter l'arbre en partant de S , le sens ou les paquets circulés.



Cout : $n + 1$

Que peut-on dire ?

Avons-nous raison ou tort de faire ces arbres ?

- Comme les 2 graphes contenaient des cycles, on a pas trop le choix : faut enlever une arête.
- Mais dans une situation où faut enlever une arête, c'est comme ça qu'on le fait ?
 - Dans notre résultat le premier arbre est cher, il y a un coût de 200, alors qu'on peut obtenir un coût beaucoup moins cher avec l'arête de point 1.

On propose maintenant comme arbre de distribution un **Arbre Couvrant Minimum**¹ tel qu'obtenu par les algorithmes de **Prim** ou **Kruskal** (La somme des poids des arêtes de l'arbre est minimum).

¹ pas forcément unique non plus

#2

Calculez un arbre couvrant minimal sur les deux réseaux ci-dessus.
Que peut-on dire ?

C'est quoi un ACM (Arbre Couvrant Minimal) pour ces 2 graphes ?

Le réseau de gauche

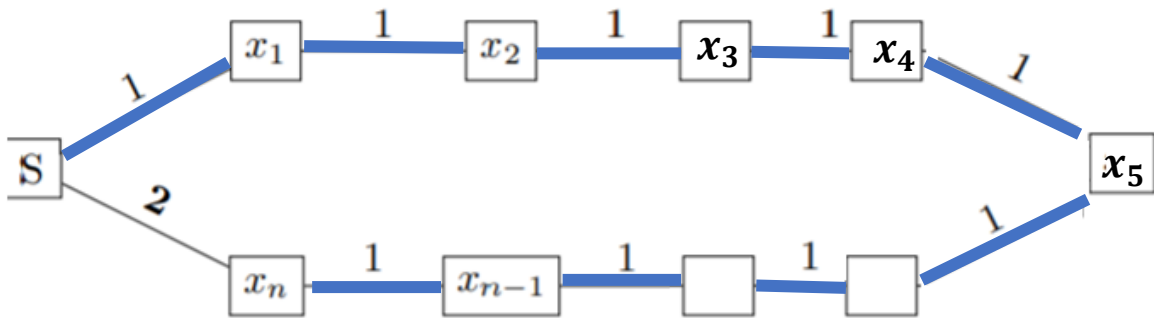
Pour l'arbre couvrant minimal on a 2 options. Les 2 ont le même poids.



Coût : 101

Le réseau de droite

On prend tous les arrêtes les plus légères, et pas la plus lourde.



Cout : n

Que peut-on dire ?

On peut pas faire moins cher, mais il y a quand même un truc pas optimal :

- Quand on parle de x_1 (par exemple) il y a 2 choses qu'on peut optimiser :
 - Le cout : optimisé par l'ACM
 - Le délai (= latence) : optimisé par Dijkstra
- Dijkstra assure qu'on a le meilleur délai (= latence) pour chaque-un.
- Prim / Kruskal assure qu'on a le meilleur cout total.

#3

Conclusion ?

Faut un algo qui fait les 2 choses.. mais les algo bi-critères sont plus compliquer..

Exercice 3 Niveau protocole

Lorsqu'une application tournant sur le hôte H s'abonne au groupe multicast G , H envoie un message $join(G)$ du protocole $IGMP$ aux routeurs voisins.
Lorsque plus aucune application sur un hôte n'est abonnée au groupe G , le hôte envoie un message $IGMP leave(G)$.

Un groupe multicast : est identifier par une adresse de diffusion qui commence par **FF** (comme une adresse IP mais avec le préfixe FF).
Une fois qu'on est abonné, on peut envoyer...

#1

À quoi sert IGMP ?

La couche réseau

Protocole IGMP

La version 2 du protocole IGMP (**I**nternet **G**roup **M**anagement **P**rotocol), telle que définie dans le [RFC 2236], est exploitée entre un hôte et le routeur auquel il est directement relié (voir figure 4.49).

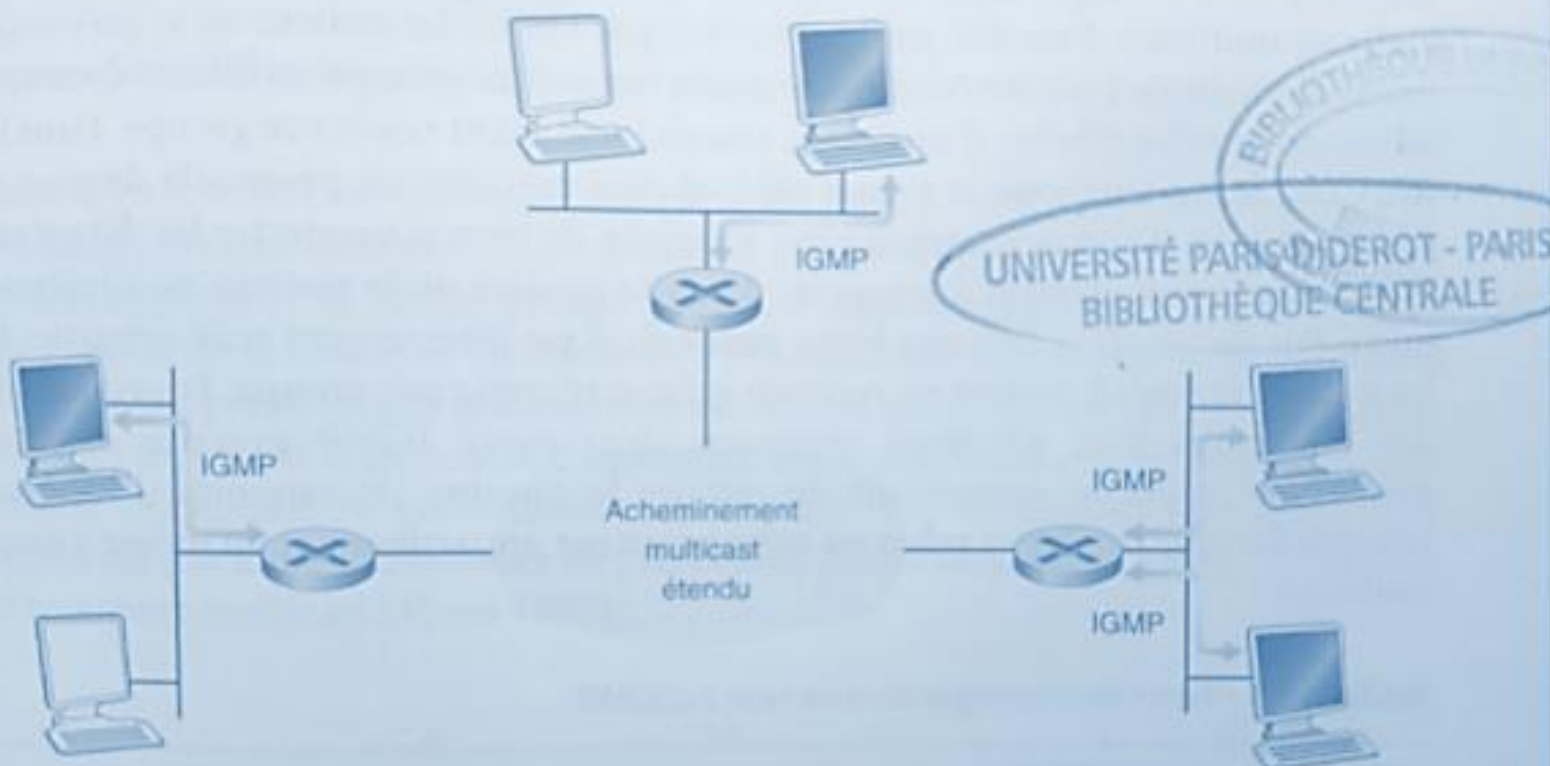


Figure 4.49 • Deux composants multicast de couche Réseau : IGMP et les protocoles de routage associés.

On peut se représenter ce routeur comme le routeur de “premier bond” qu’un paquet expédié par un hôte rencontrerait sur son chemin vers n’importe quelle destinataire située en dehors de son réseau local, ou comme le routeur de “dernier bond” sur n’importe quel chemin conduisant à cet hôte.

La figure 4.49 représente trois routeurs multicast de premier bond, chacun directement relié à des hôtes au moyen d’une seule interface de sortie locale. Cette interface locale est reliée ici à un LAN, et bien que les trois réseaux locaux comportent plusieurs hôtes, dans bien des cas seuls quelques-uns appartiennent au même groupe multicast à un moment donné.

IGMP permet à un hôte d’informer le routeur auquel il est directement relié qu’une de ses applications cherche à joindre un groupe multicast particulier.

Source : James W. Kurose, Keith W. Ross. Computer Networking, A Top-Down Approach. (Edition française)

À quoi sert IGMP ?

IGMP sert à pouvoir envoyer et recevoir du multicast en s’abonnant à un groupe multicast (**adresse IPv6 : $ff00::/8$**).

#2

Le message IGMP est envoyé en multicast ; on implémente donc le multicast à l’aide du multicast. Est-ce un problème ?

Ça veut dire quoi envoyer un message *join()* à un routeur voisin ?

C’est quoi un voisin sur un réseau ?

Voisin = sur le même lien (même access point Wi-Fi).

- Les gens connecter en Wi-Fi sur la même borne.
- Au niveau bas c’est la bande Wi-Fi, et par définition nos voisins ce sont les gens qui sont sur le même lien. Un lien : des gens qui peuvent s’envoyer des paquets directement, donc, ils sont sur le même point d’accès.

Le multicast est pas un vrai multicast IPv6, c'est un broadcast sur le lien local.

#3

Que se passe-t-il si un hôte quitte le réseau avant d'avoir envoyé son **leave**, ou si le **leave** est perdu ? Comment imaginez-vous que IGMP résous ce problème ?

Types de messages de la version 2 d'IGMP

Type de messages IGMP	Envoyé par	Fonction
Demande d'adhésion à un groupe : générale	Routeur	Obtenir des informations sur les groupes multicast auxquels appartiennent les hôtes directement reliés au routeur.
Demande d'adhésion à un groupe : spécifique	Routeur	Interroger les hôtes pour savoir si un groupe multicast particulier a été rejoint par un ou plusieurs hôtes directement reliés au routeur
Rapport d'adhésion à un groupe	Hôte	Informar le routeur que l'hôte est disposé à rejoindre un groupe donné ou y appartient déjà
Sortie du groupe	Hôte	Avertissement de sortie d'un groupe multicast

Le dernier type de message IGMP est le message de sortie d'un groupe. Fait intéressant, ce message est tout à fait optionnel ! Mais dans ce cas-là, comment un routeur peut-il détecter les changements d'adhésion de groupe des différents hôtes auxquels il est relié ? En d'autres termes, comment par exemple savoir que tous les hôtes reliés à un de ses interfaces ont quitté un groupe multicast donné ? La réponse à cette question se trouve dans l'utilisation qui est faite des messages de demande d'adhésion IGMP.

Le routeur ne conclut qu'aucun des hôtes auxquels il est relié n'appartient à un groupe donné lorsqu'aucun d'entre eux ne répond à son message de demande d'adhésion à ce groupe. Voici un exemple de ce qui est parfois

dénommé “protocole à état momentané” (“soft state”) en ce qui concerne les protocoles internet. Avec un protocole à état momentané, l’état, ou, dans le cas du protocole IGMP, le fait que certains hôtes soient membres d’un groupe multicast donné, est annulé par un effet de temporisation. Dans le cas présent, cette temporisation est déclenchée par l’envoi périodique de messages de demande d’adhésion de la part du routeur, et elle s’interrompt si l’information n’est pas explicitement rafraîchie par un rapport d’adhésion de la part des hôtes.

Source : James W. Kurose, Keith W. Ross. Computer Networking, A Top-Down Approach. (Edition française)

Donc,

- A durée limitée.
- Le renouveler périodiquement avant expiration.

Exercice 4

Pour chaque routeur S du réseau et pour chaque groupe multicast G , un protocole à vecteur de distances multicast naïf construit l'arbre des chemins les plus courts vers tous les routeurs du réseau à l'aide de **l'algorithme à vecteurs de distances**.

Le plan de données obéit à l'algorithme **reverse path forwarding (RPF)**:

Lorsqu'un paquet avec pour source un hôte attaché à S et destination G arrive sur l'interface I d'un routeur R ,

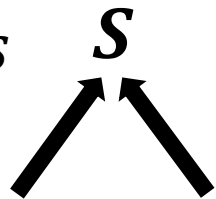
- si l'interface I n'est pas l'interface par laquelle passe le plus court chemin de S à R , alors le paquet est jeté et il n'y a plus rien à faire ;
- sinon, R duplique le paquet et l'émet à travers toutes les interfaces autres que I .

La couche réseau est divisée en deux plans :

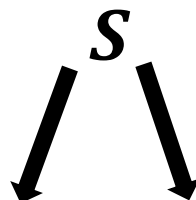
- le **plan de données** s'occupe de pousser les paquets plusieurs millions de fois par seconde ;
- le **plan de contrôle** calcule par où il faut les pousser latence de l'ordre de la seconde.

Cours 2020 Prof. Juliusz Chroboczek

- **Plan de contrôle** : arbre de plus court chemins vers S



- **Plan de données** : paquets partant de S



Algorithme

Reverse Path Forwarding (RPF):

Lorsqu'un paquet avec pour source un hôte attaché à **S** et destination **G** arrive sur l'interface **I** d'un routeur **R**,

- **si** l'interface **I** n'est pas l'interface par laquelle passe le plus court chemin de **S** à **R**, alors le paquet est jeté et il n'y a plus rien à faire ;
- **sinon**, **R** duplique le paquet et l'émet à travers toutes les interfaces autres que **I**.

L'algorithme RPF (Reverse Path Forwarding)

L'algorithme de retransmission sur parcours inverse

L'idée qui sous-tend l'algorithme RPF (Reverse Path Forwarding) est remarquablement simple et élégante :

Lorsqu'un paquet d'un émetteur donné arrive sur un routeur, celui-ci détermine si le paquet a suivi le lien qu'il utilise lui-même normalement pour envoyer un paquet vers la source de la diffusion.

Si c'est le cas, il y a des chances que le paquet ait emprunté le plus court chemin depuis l'émetteur et qu'il s'agisse du paquet original. Le routeur en transmet alors une copie sur tous ses liens, excepté celui par lequel il l'a reçu.

Si, en revanche, l'analyse montre que le paquet n'a pas été reçu par la meilleure route, il est alors considéré comme un doublon et le routeur le rejette.

Source : Andrew Tanenbaum, David Wetherall. Computer Networks.. (Edition française)