

à l'Université Pierre et Marie Curie, le 5 octobre 2004

M2 Informatique Réseaux

Multimédia et Qualité de Service

Cours 2 : Le multicast

Timur FRIEDMAN

à partir des transparents de Kim THAI, avec modifications

Plan

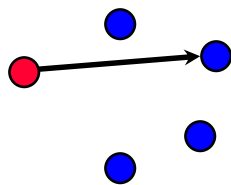
- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Plan

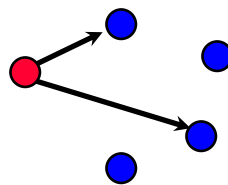
- Introduction
 - Définition
 - Notion de groupe
 - Problématique
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Qu'est-ce que le multicast ?

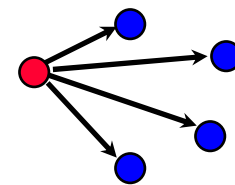
- moyen efficace de communication 1-vers-N
- multicast vs. unicast et broadcast
 - unicast : une seule source vers une seule destination
 - multicast : une seule source vers un sous-ensemble de destinataires
 - broadcast : une seule source vers toutes les destinations



unicast
(1-vers-1)

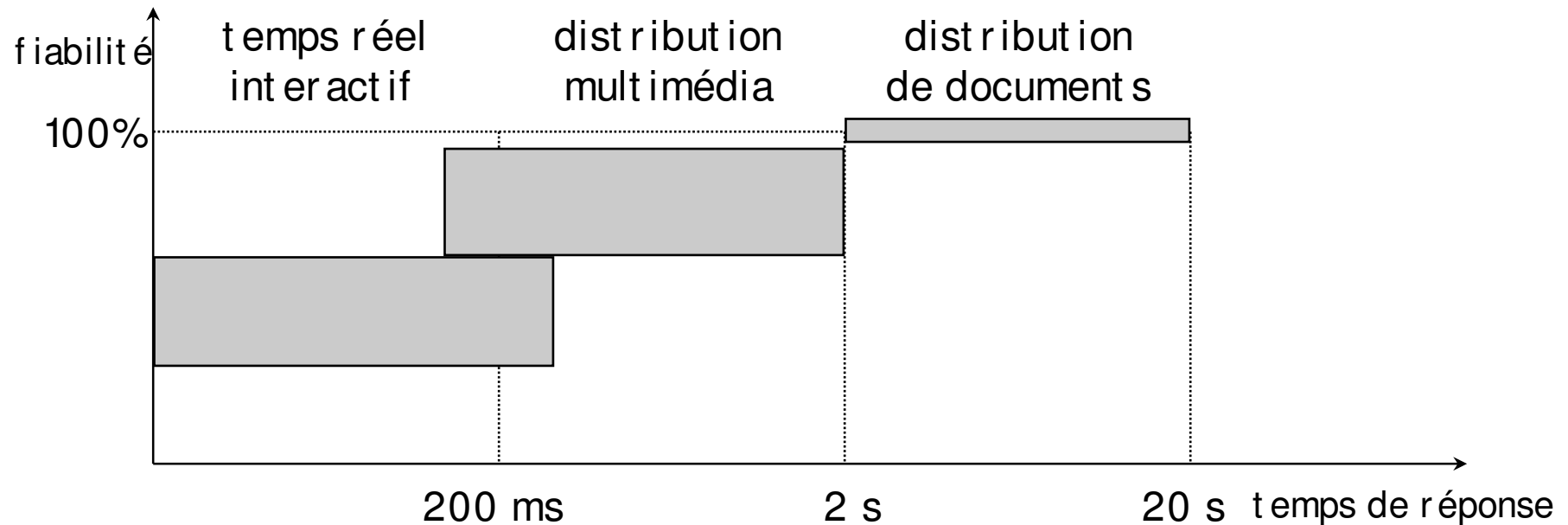


multicast
(1-vers-N)



broadcast
(1-vers-tous)

Des applications pour le multicast



- conférence
- délai de l'ordre de 100 ms
- tolérance d'un certain taux de pertes

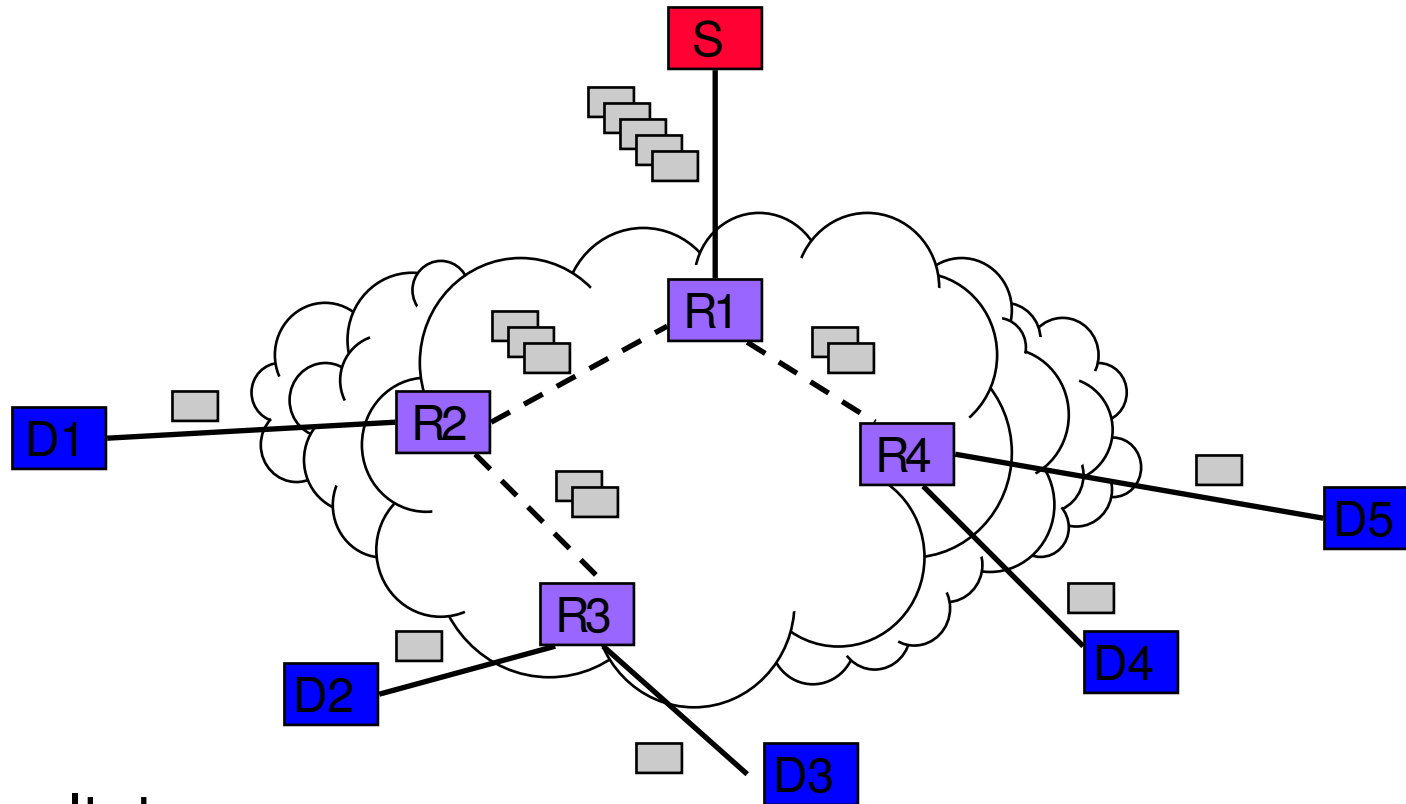
- flux continu, temps réel, non interactifs, unidirectionnels

- distribution de logiciels
- fiabilité de 100%
- peu de contraintes temporelles

Copyright 2004 by Timur Friedman

Pourquoi le multicast ? (1/3)

■ distribution utilisant TCP/IP



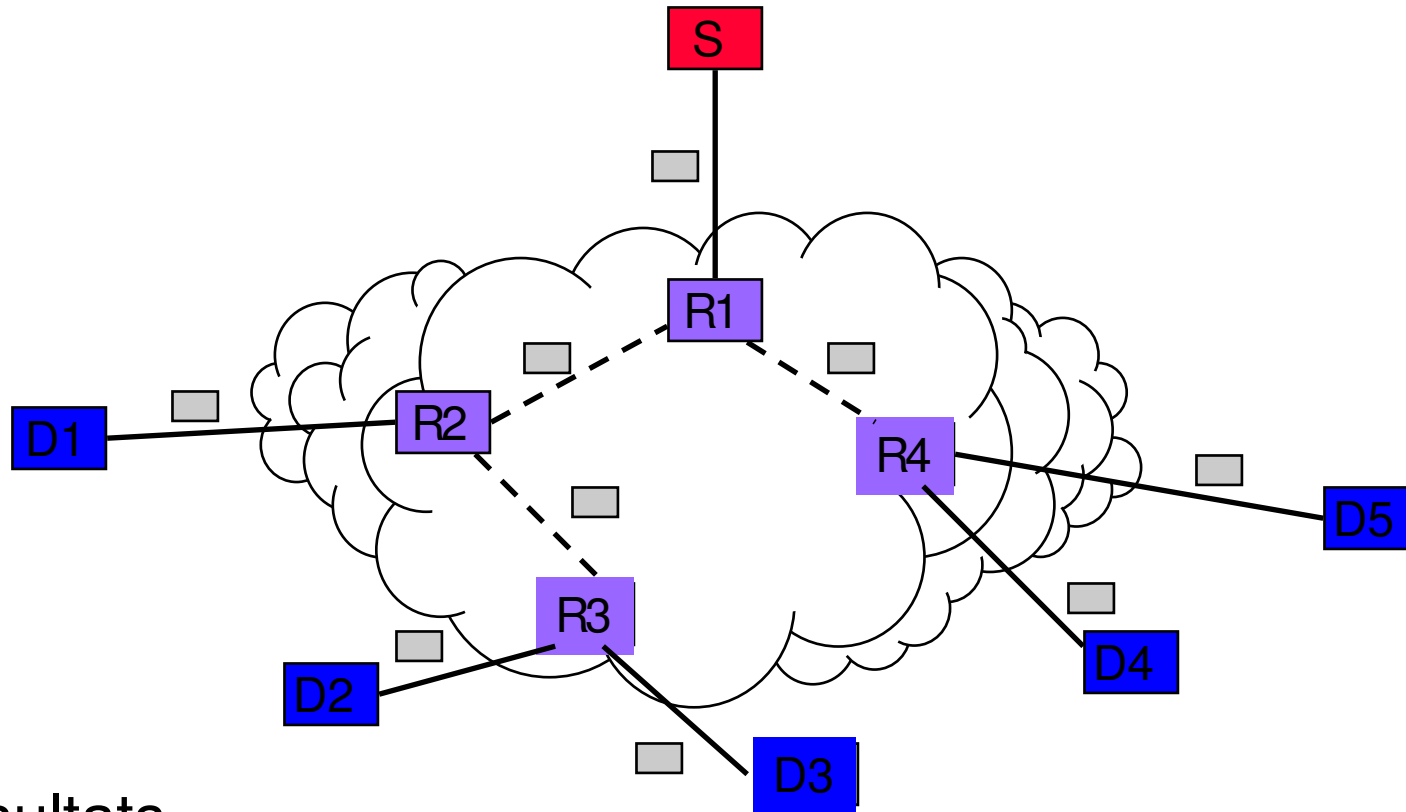
■ résultats

- plusieurs copies du même paquet
- plusieurs buffers
- plusieurs connexions

Copyright 2004 by Timur Friedman

Pourquoi le multicast ? (2/3)

■ distribution utilisant un multicast



■ résultats

- une seule copie de chaque paquet
- un seul buffer
- une seule connexion multicast

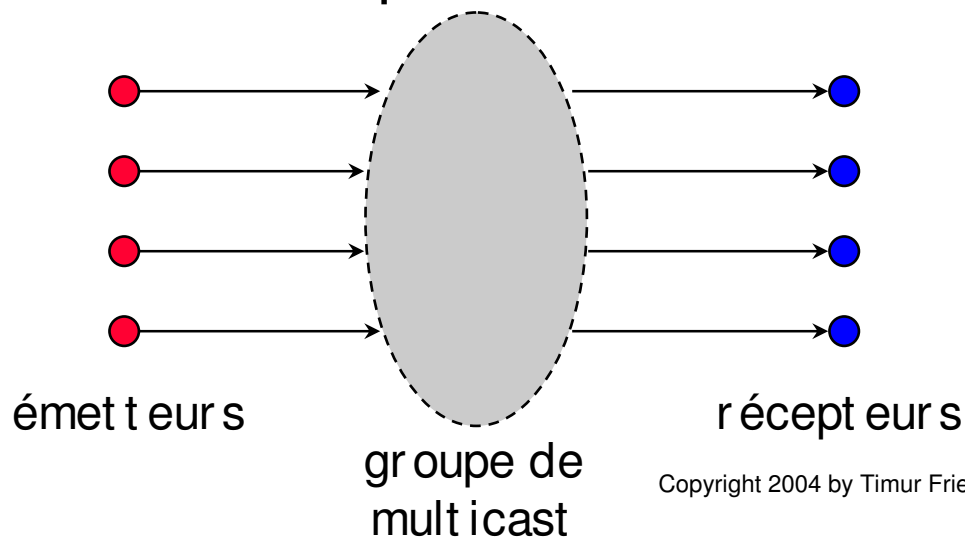
Copyright 2004 by Timur Friedman

Pourquoi le multicast ? (3/3)

- utilise la bande passante de façon efficace
- prévient la congestion du réseau
- minimise la charge des serveurs
- fournit l'information à davantage d'utilisateurs simultanément
- touche un nombre quelconque de personnes en une seule fois
- etc.

Notion de groupe de multicast

- comment identifier les récepteurs d'un paquet Mcast
 - en unicast : une adresse IP de destination
 - ici, toutes les adresses de destination ???
- une abstraction : le groupe de multicast
 - associe un ensemble d'émetteurs et de récepteurs
 - existe indépendamment des émetteurs et récepteurs



chaque récepteur reçoit
les paquets de chaque
émetteur

Copyright 2004 by Timur Friedman

Adresses de multicast IP (1/2)

■ un groupe de multicast : une adresse de classe D

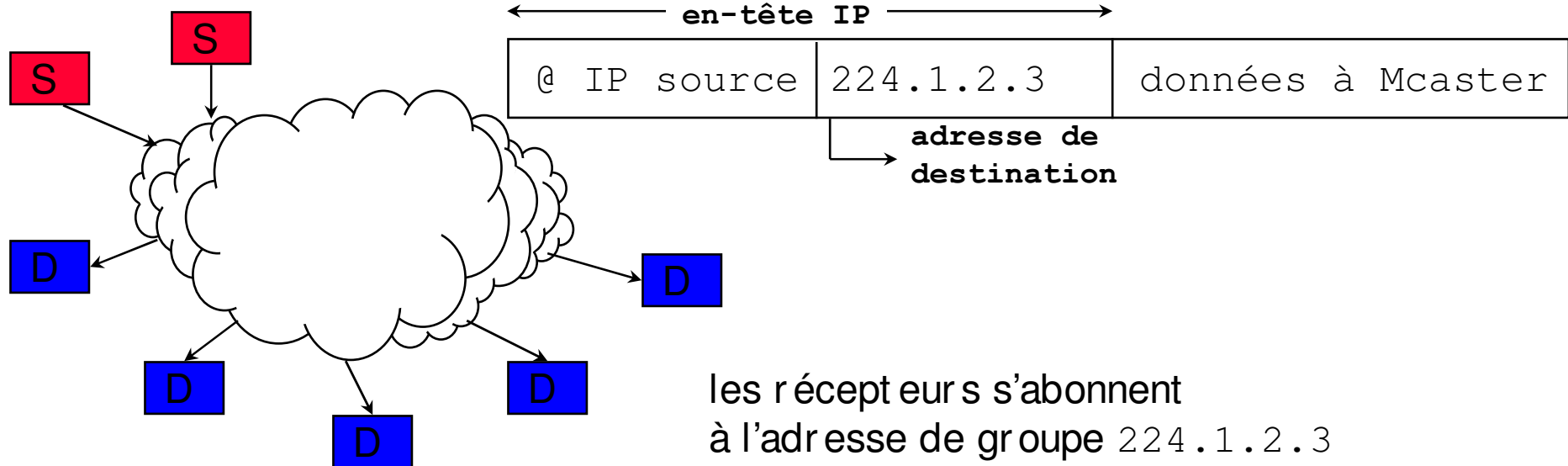
A	0 réseau		station	
B	10	réseau		station
C	110	réseau		station
D	1110	adresse multicast		

de 224.0.0.0	11100000	00000000	00000000	00000000
⋮			...	
à 239.255.255.255	11101111	11111111	11111111	11111111

- 224.0.0.0 : non utilisée
- 224.0.0.1 : représente l'ens. des stations du sous-réseau considéré
- il n'y a pas d'adresse pour l'ens. des machines de l'Internet

Adresses de multicast IP (2/2)

■ adressage du groupe



■ indirection d'adresse

■ chaque hôte a sa propre @IP, indépendante de l'@groupe

☺ dissociation des problèmes

- découvrir l'ensemble des groupes Mcast courants
- exprimer le souhait de recevoir les paquets d'un groupe
- découvrir l'ens. des récepteurs d'un groupe
- délivrer les données à chaque membre du groupe

Copyright 2004 by Timur Friedman

Multicast : les problèmes

■ des questions...

- quand et comment un groupe naît-il et prend-il fin ?
- quand et comment l'@ groupe est-elle choisie ?
- comment de nouvelles stations se joignent-elles à un groupe ?
- y-a-t-il des conditions pour l'appartenance à un groupe ?
- comment les routeurs interopèrent-ils pour délivrer les paquets ?

■ des choix...

- un récepteur doit pouvoir rejoindre ou quitter un groupe en cours de transmission
- un récepteur doit pouvoir rejoindre ou quitter un groupe sans le signaler explicitement aux émetteurs

■ des constats....

- les hôtes récepteurs sont souvent connectés à des réseaux locaux...

Plan

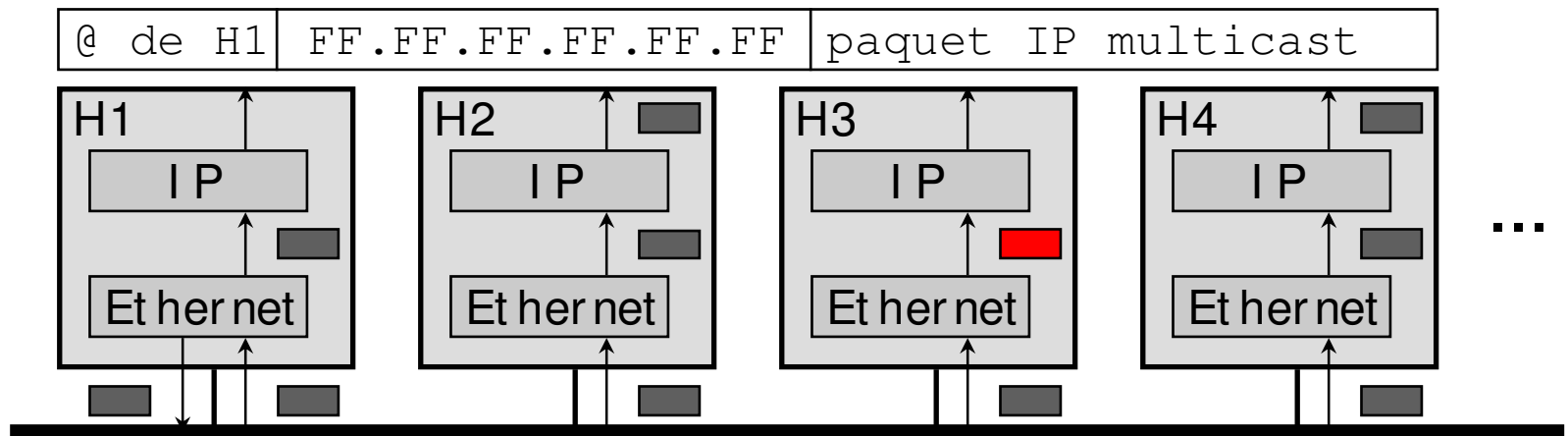
- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
 - Le multicast sur un LAN
 - Le protocole IGMP
 - Le modèle de service
 - Les algorithmes de routage multicast
 - Les protocoles de routage multicast
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

Multicast sur un LAN (1/3)

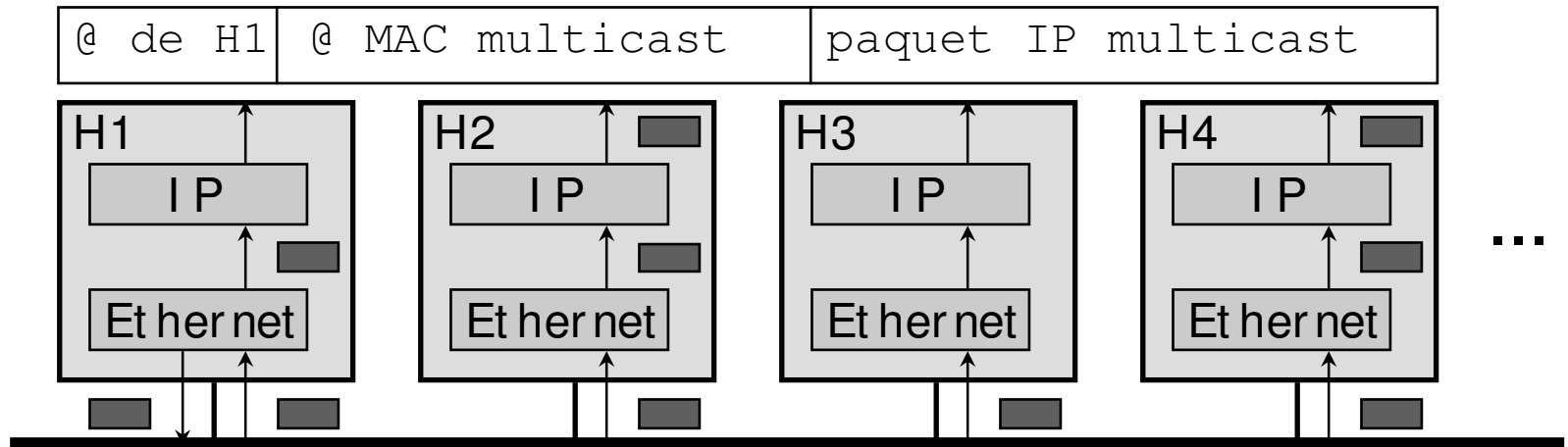
- l'existant (cas d'Ethernet)
 - Ethernet repose sur un support à diffusion
 - chaque station a une carte réseau avec une @ matérielle spécifique
 - il existe une adresse de diffusion (`FF:FF:FF:FF:FF:FF`)
- que faire si l'on souhaite joindre uniquement un sous-ensemble de stations ?
 - ex : H1 souhaite envoyer un paquet Mcast à H2 et H4 qui sont sur le même réseau que lui
 - deux possibilités...

Multicast sur un LAN (2/3)

- le multicast de réseau utilise le broadcast de liaison



- le multicast de réseau utilise le multicast de liaison



Multicast sur un LAN (3/3)

■ traduction des adresses IP multicast en @ Ethernet

■ format des adresses multicast Ethernet

de 01:00:5e:00:00:00

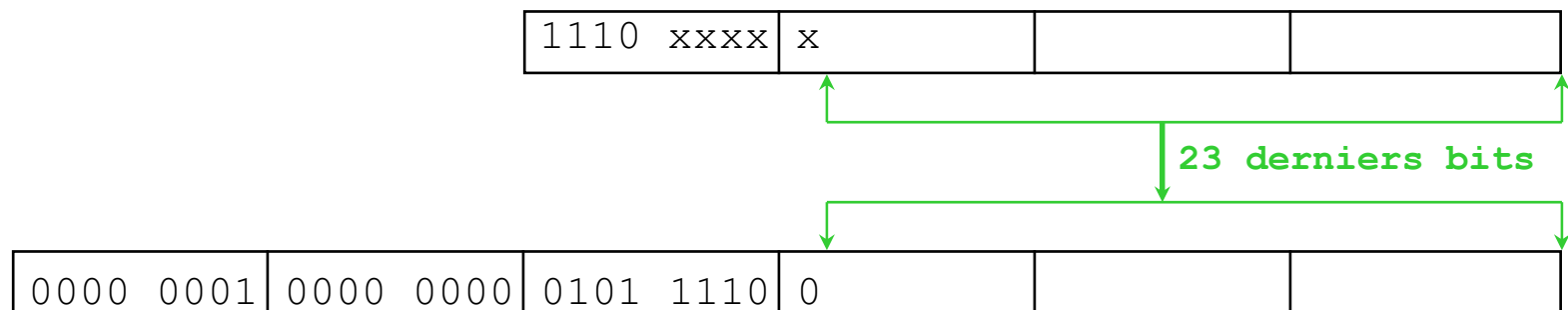
: .

0000 0001	0000 0000	0101 1110	0000 0000	0000 0000	0000 0000
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

à 01:00:5e:7f:ff:ff

0000 0001	0000 0000	0101 1110	0111 1111	1111 1111	1111 1111
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

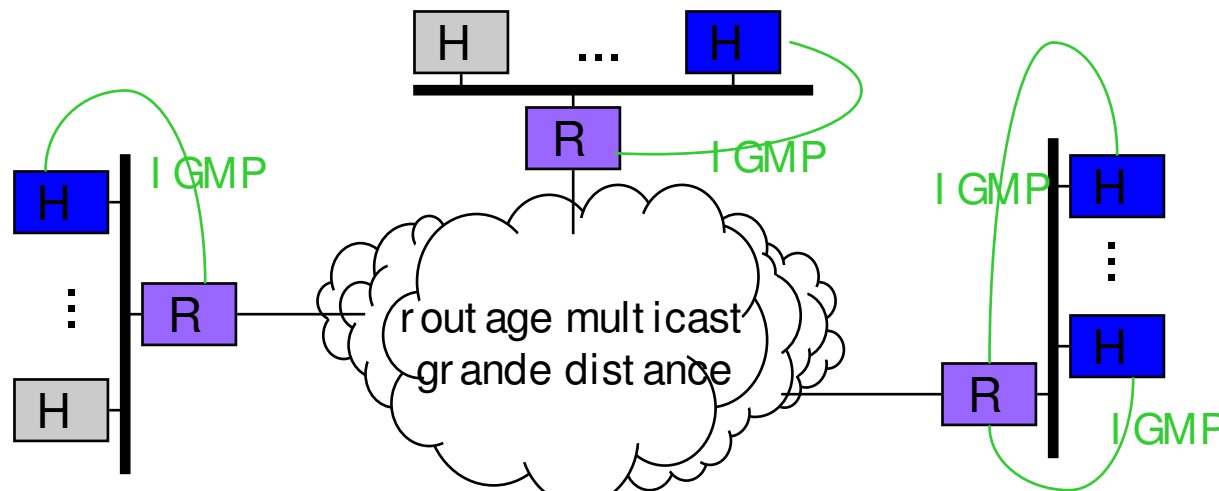
■ mécanisme de traduction



➡ on sait Mcaster un paquet IP sur un LAN à diffusion !

IGMP : Qu'est-ce que c'est ?

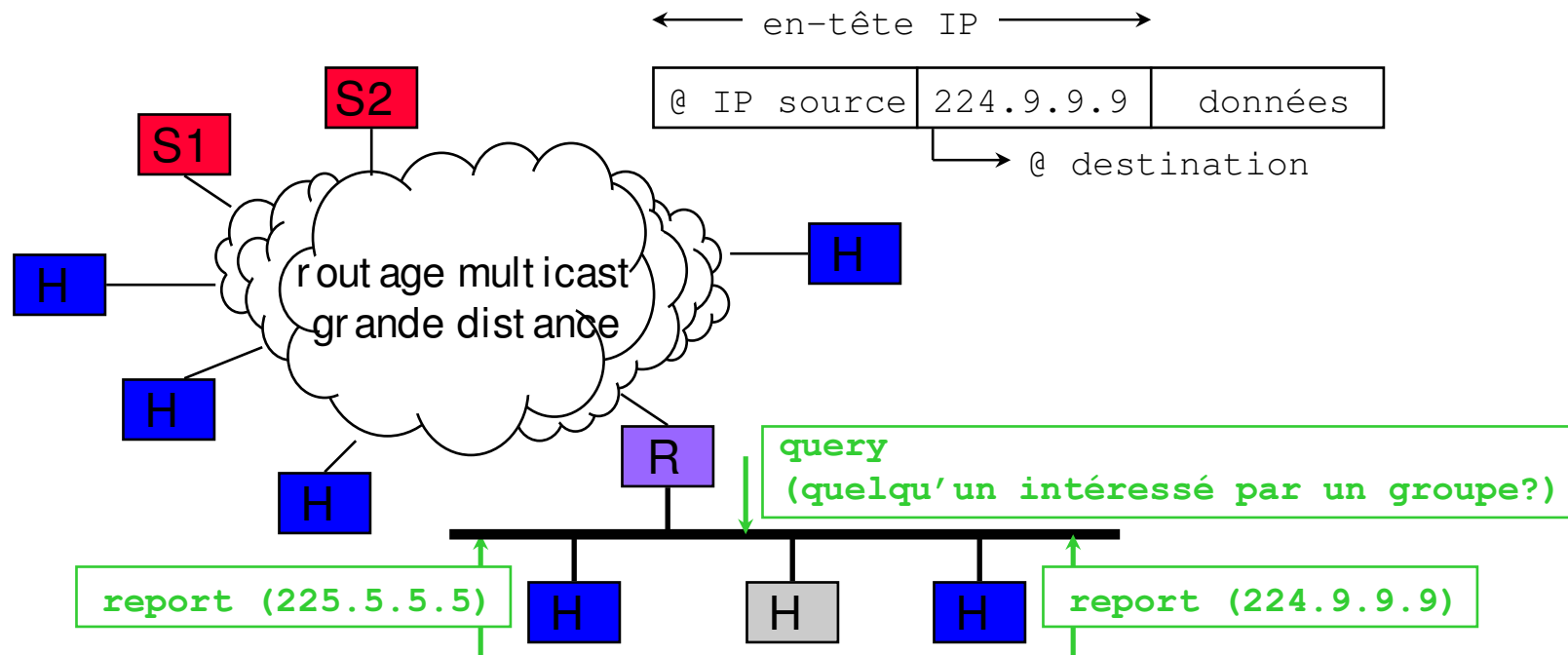
- comment un routeur détermine-t-il si son LAN possède des récepteurs pour un groupe donné ?
- Internet Group Management Protocol
 - permet à un hôte d'indiquer à son routeur local qu'il souhaite rejoindre un groupe
 - est utilisé sur les LAN à diffusion



Copyright 2004 by Timur Friedman

IGMP Version 1 (1/1)

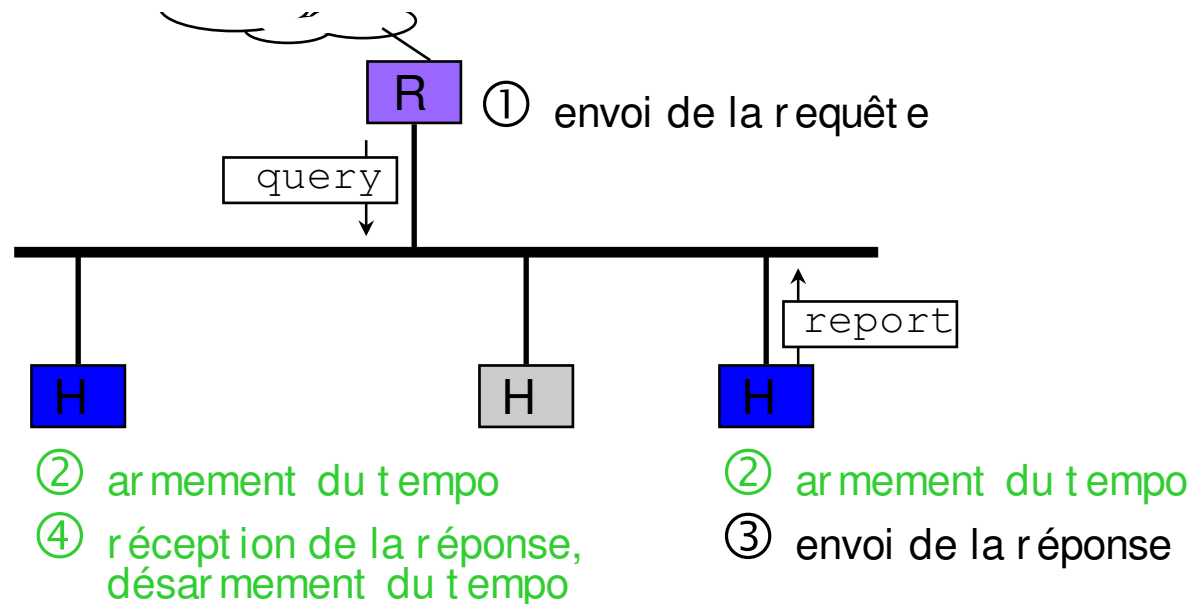
- RFC 1112 (Aug.89)
- échange de messages query/report



IGMP Version 1 (2/2)

■ risque de congestion

■ étalement des réponses basé sur des temporisateurs



😊 réduction du trafic sur le LAN si aucun membre

😞 délai éventuel (qq s.) avant de recevoir les données

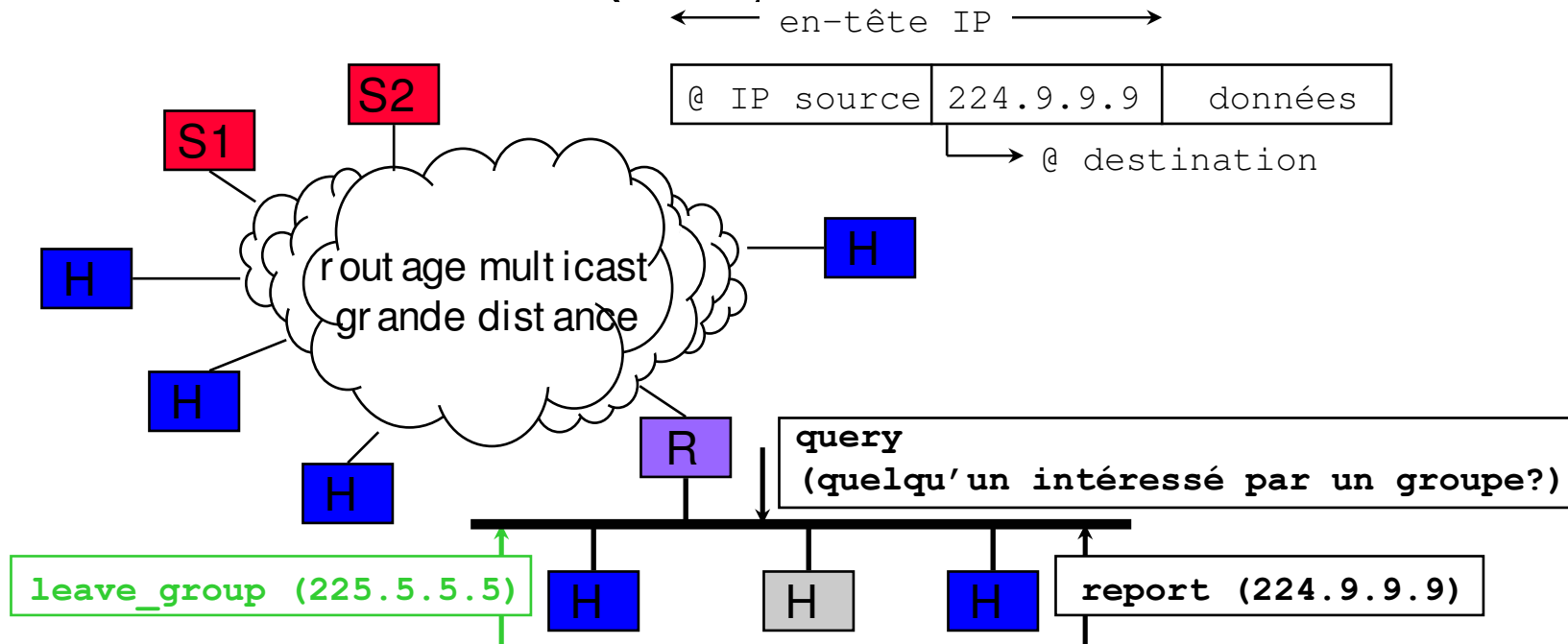
IGMP Version 2 (1/2)

- RFC 2236 (Nov.97)
- un récepteur informe explicitement son routeur lorsqu'il quitte un groupe
 - 3 types de message

type de message	envoyé par	but
membership_query		
général	routeur	s'enquérir des groupes auxquels sont abonnés les hôtes
spécifique	routeur	demande si un groupe donné a des membres sur le LAN
membership_report	hôte	indiquer que l'hôte souhaite joindre ou a joint un groupe
leave_group	hôte	indiquer que l'hôte quitte un groupe donné

- étalement des réponses avec $0 \leq \text{tempo} \leq \text{MaxRespTime}$

IGMP Version 2 (2/2)



■ format du message

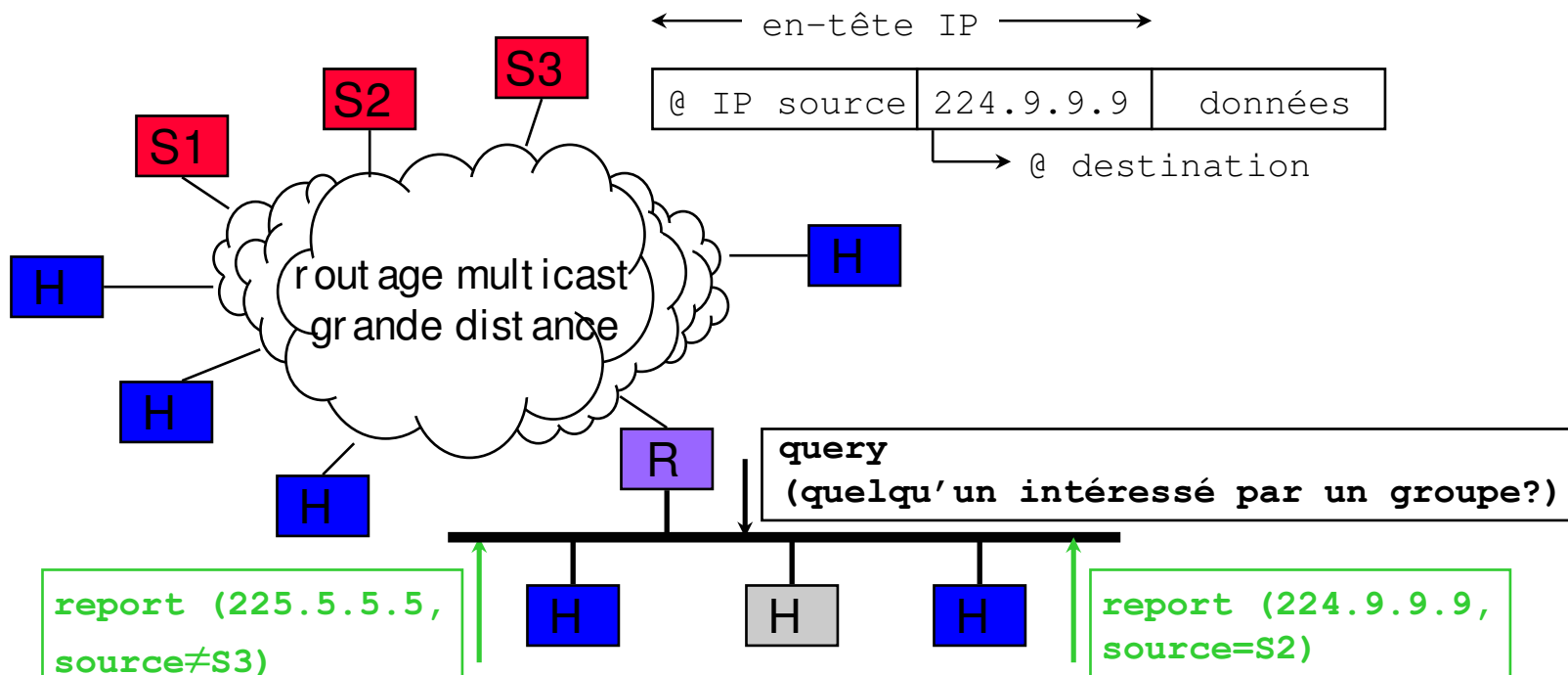
type	MaxRespTime	Checksum
Multicast Group Address		

😊 réduction de la latence du *Leave*

Copyright 2004 by Timur Friedman

IGMP Version 3

- *draft* en cours
- un récepteur peut sélectionner les sources qu'il souhaite (ne pas) entendre



Le modèle de service du multicast (1/5)

- issu des travaux de Steve Deering

- caractéristiques de la transmission

- multicast IP : transmission d'un paquet IP à un groupe d'hôtes identifié par une seule adresse de destination
- transmission *best effort*

- caractéristiques du groupe

- appartenance dynamique
- pas de restriction quant à la localisation et au # de membres
- un hôte peut être simultanément membre de plusieurs groupes
- un hôte n'a pas besoin de faire partie d'un groupe pour être source
- groupe permanent/transitoire
- l'opération de *Join* est *receiver-driven*

Le modèle de service de multicast (2/5)

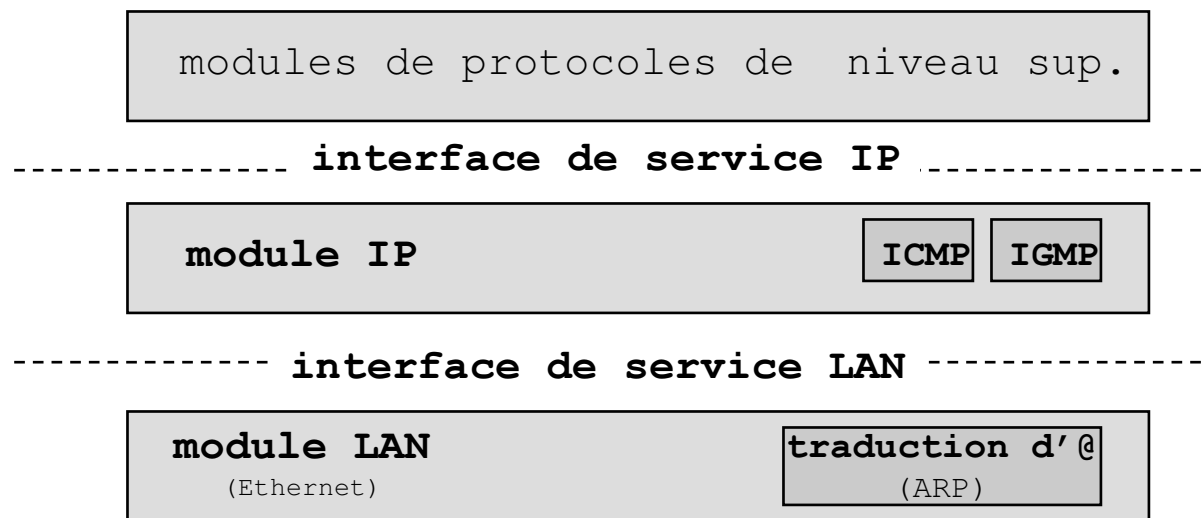
- ☹ l'émetteur ne contrôle pas qui joint le groupe
- ☹ il n'y a pas de contrôle sur qui envoie au groupe
- ☹ les paquets issus de plusieurs sources peuvent être reçus entrelacés
- ☹ 2 groupes différents peuvent choisir la même @

■ rôle des routeurs Mcast locaux

- co-résidents ou séparés des routeurs classiques
- un routeur local qui reçoit un paquet Mcast d'un de ses hôtes, avec un $TTL > 1$, le fait suivre vers tous les sous-réseaux connectant des membres récepteurs
- sur les sous-réseaux destinataires, le routeur local termine la transmission en Mcastant le paquet en local

Le modèle de service de multicast (3/5)

- le RFC 1112 spécifie les extensions à apporter à un hôte IP pour supporter le Mcast
 - 3 niveaux de conformité
 - 0 : l'hôte ne supporte pas le Mcast
 - 1 : l'hôte peut émettre à destination d'un groupe
 - 2 : l'hôte supporte le Mcast en émission et réception
 - modèle d'implémentation IP d'un hôte



Le modèle de service de multicast (4/5)

■ les extensions pour l'envoi Mcast

■ interface de service IP

- utilisation de `SendIP`
- `@ dest = @ de groupe`
- le niveau supérieur doit pouvoir spécifier un TTL

■ module IP

- si `IP-dest` est sur le même réseau local
ou ***si IP-dest est une @ de groupe***
alors envoyer le paquet en local à `IP-dest`
sinon envoyer le paquet en local à `GatewayTo (IP-dest)`

■ interface de service LAN

■ module LAN

- mécanisme de traduction des `@IP Mcast` en `@MAC Mcast`

Le modèle de service du multicast (5/5)

■ les extensions pour la réception Mcast

■ interface de service IP

- utilisation de `ReceiveIP`
- ajout de `JoinHostGroup (group-address, interface)`
- ajout de `LeaveHostGroup (group-address, interface)`

■ module IP

- maintien de la liste des groupes dont l'hôte est membre pour chacune des interfaces (mise à jour avec les `Join` et `Leave`)
- intégration de IGMP et adhésion à `224.0.0.1`

■ interface de service LAN

- ajout de `JoinLocalGroup (group-address)`
- ajout de `LeaveLocalGroup (group-address)`

■ module LAN

- mécanismes de filtrage par la carte souhaités

Plan

- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
 - Le multicast sur un LAN
 - Le protocole IGMP
 - Le modèle de service
 - Les algorithmes de routage multicast
 - Shortest Path Tree
 - Minimum Cost Tree
 - Constrained Tree
 - Les protocoles de routage multicast
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche

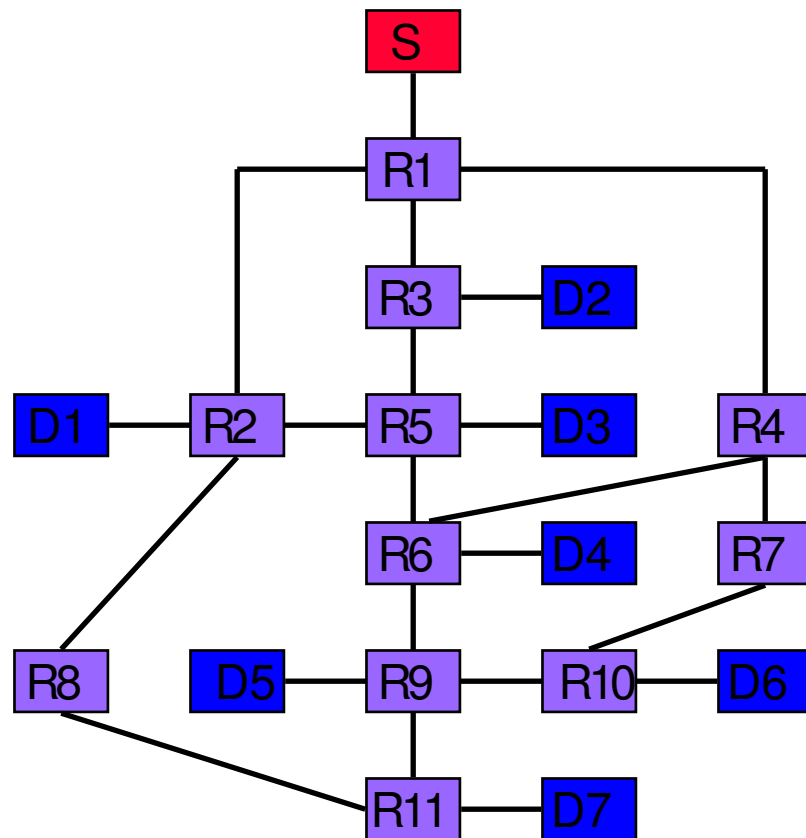
Les algorithmes de routage multicast

- objectif : calculer un arbre de liens connectant tous les routeurs ayant des hôtes appartenant au groupe
- buts :
 - minimiser la distance entre la source et chaque récepteur
 - minimiser l'utilisation de liens dans le réseau
 - ★ ces buts ne sont pas compatibles

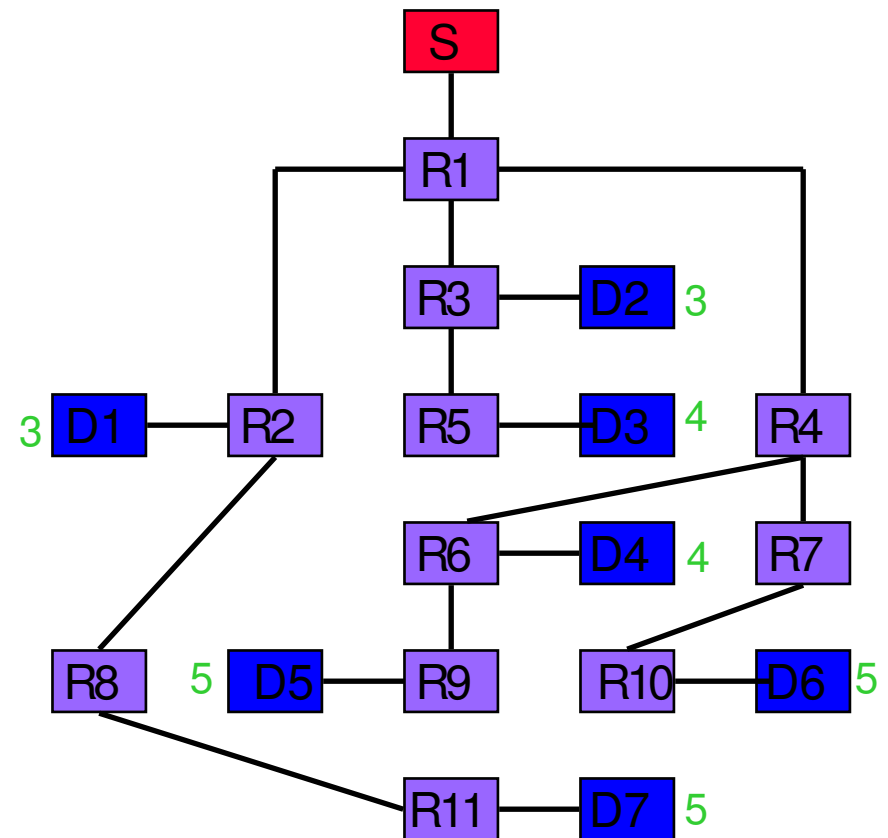
Les algorithmes SPT (1/2)

- but : calculer un arbre
 - ayant la source S pour racine
 - couvrant tous les récepteurs D_i du groupe
 - tel que la distance entre S et D_i soit minimum
- algorithmes de base
 - Bellmann-Ford : à vecteurs de distance
 - Dijkstra : à états des liens
- ☹ un arbre par émetteur

Les algorithmes SPT (2/2)



un exemple de topologie



l'arbre obtenu avec un algorithme à vecteurs de distance

Copyright 2004 by Timur Friedman

$\sum_i D_i = 29$, liens : 17

Les algorithmes MCT (1/2)

- but : minimiser le coût total de l'arbre

- 2 familles

- les algorithmes Minimum Spanning Tree

- contrainte : l'arbre ne doit toucher aucun nœud qui ne soit pas membre du groupe (pas réaliste car les routeurs ne sont pas de membres)

- ex : algorithme de Prim

- les algorithmes Minimum Steiner Tree

- la contrainte est levée

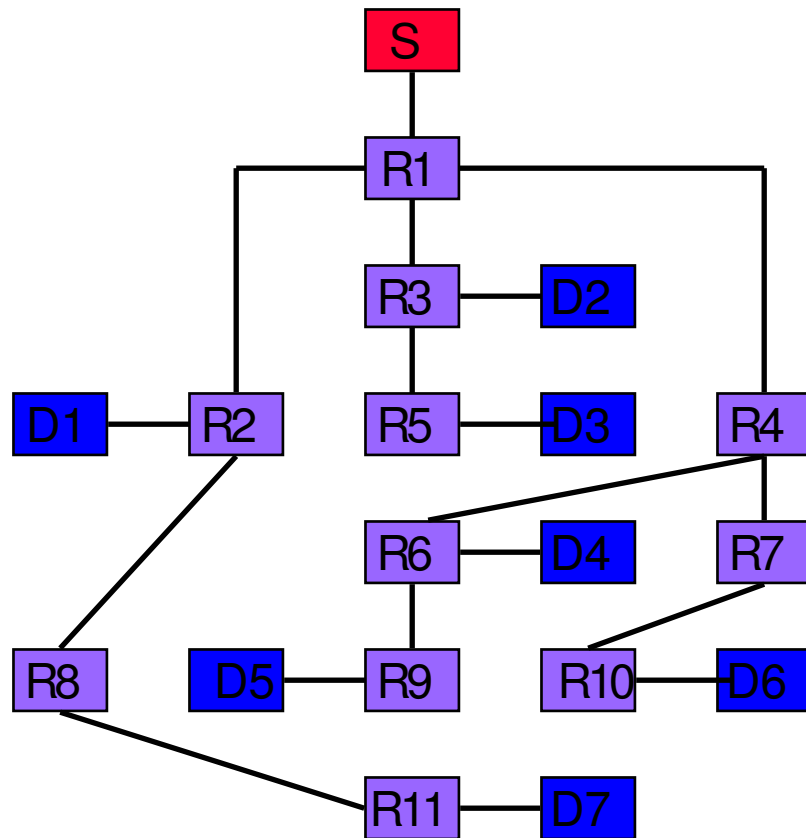
- ☹ problème NP-complet

- ☹ ils supposent de connaître toutes les liaisons du réseau

- ☹ ils sont monolithiques

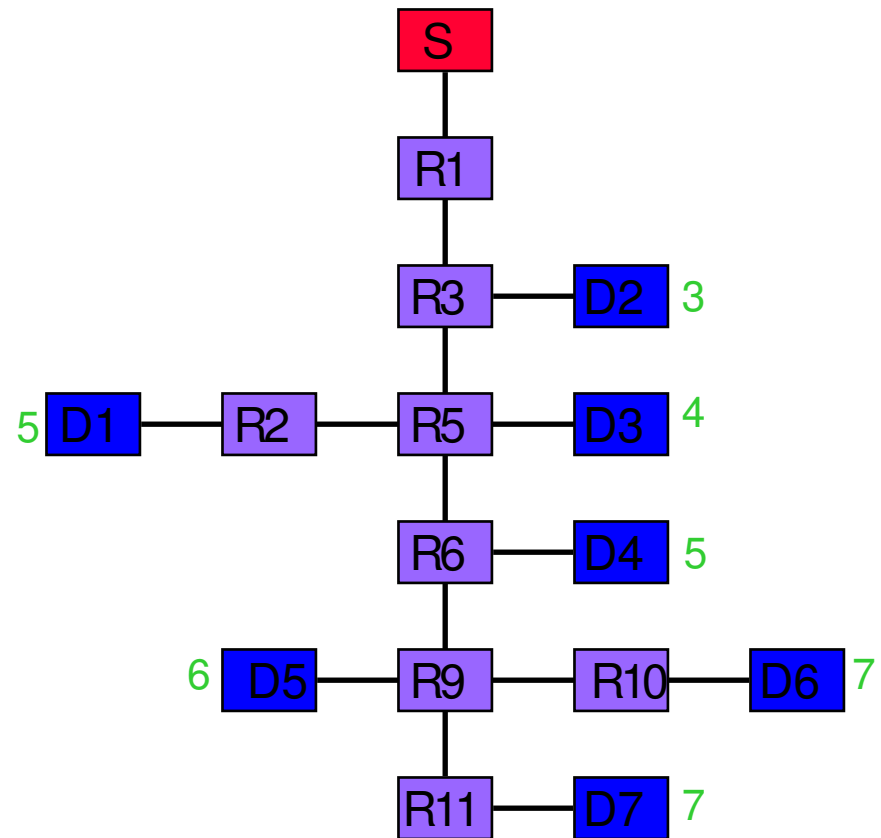
- ☹ ils n'exploitent pas les informations déjà disponibles de routage unicast

Les algorithmes MCT (2/2)



l'arbre obtenu avec un algorithme à vecteurs de distance

rq : $\text{dist}(S, D6) = 5$



l'arbre de Steiner

rq : $\text{dist}(S, D6) = 7$

Copyright 2004 by Timur Friedman

$\sum_i D_i = 37$, liens : 15

Les algorithmes CT

- but : minimiser simultanément la $\text{dist}(S, D_i)$ et le coût total de l'arbre
- principe
 - associer à chaque lien 2 métriques (distance/délai et coût)
 - rechercher l'arbre à coût minimum tel que $\text{dist}(S, D_i) \leq \Delta$

Qu'appelle-t-on IP multicast ?

- mécanisme utilisé dans l'Internet pour construire un arbre de routage multicast *efficace* et *sans boucles*
- IGMP + protocole de routage Mcast

RPF (1/2)

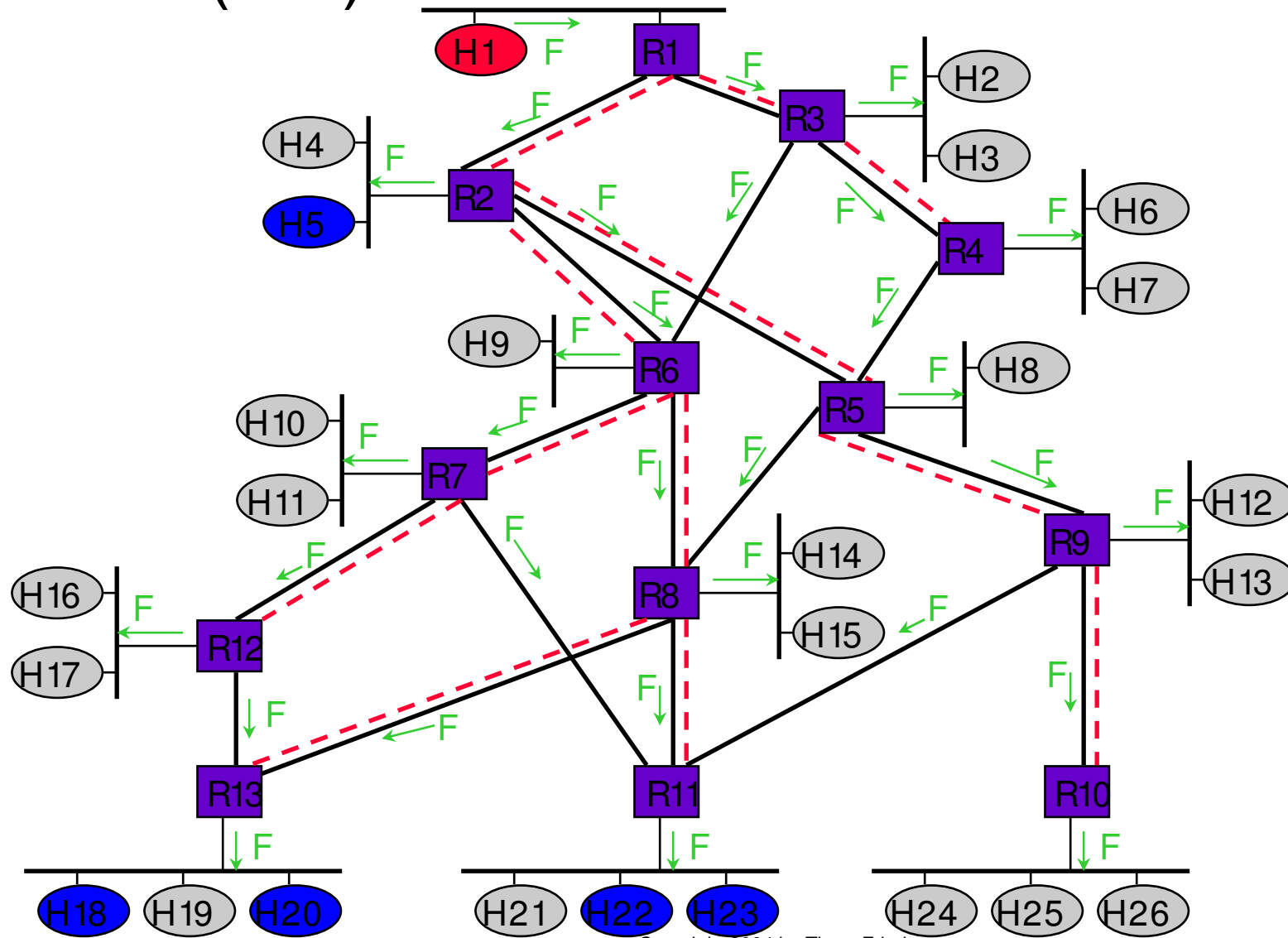
- Reverse Path Forwarding (Source-based Routing)
- l'une des premières techniques utilisées
- but : construire un arbre ayant S comme racine et minimisant $\text{dist}(S, D_i)$
- principe : utiliser l'inondation (*flooding*) avec
 - si un paquet est reçu par l'if utilisée par le routeur pour joindre S alors le paquet est retransmis sur les autres if
 - sinon le paquet est rejeté

😊 mécanisme simple

- les informations utilisées sont celles du routage unicast
- R_i n'a pas à connaître les arbres recouvrants
- pas de mécanisme particulier pour arrêter l'inondation

Copyright 2004 by Timur Friedman

RPF (2/2)

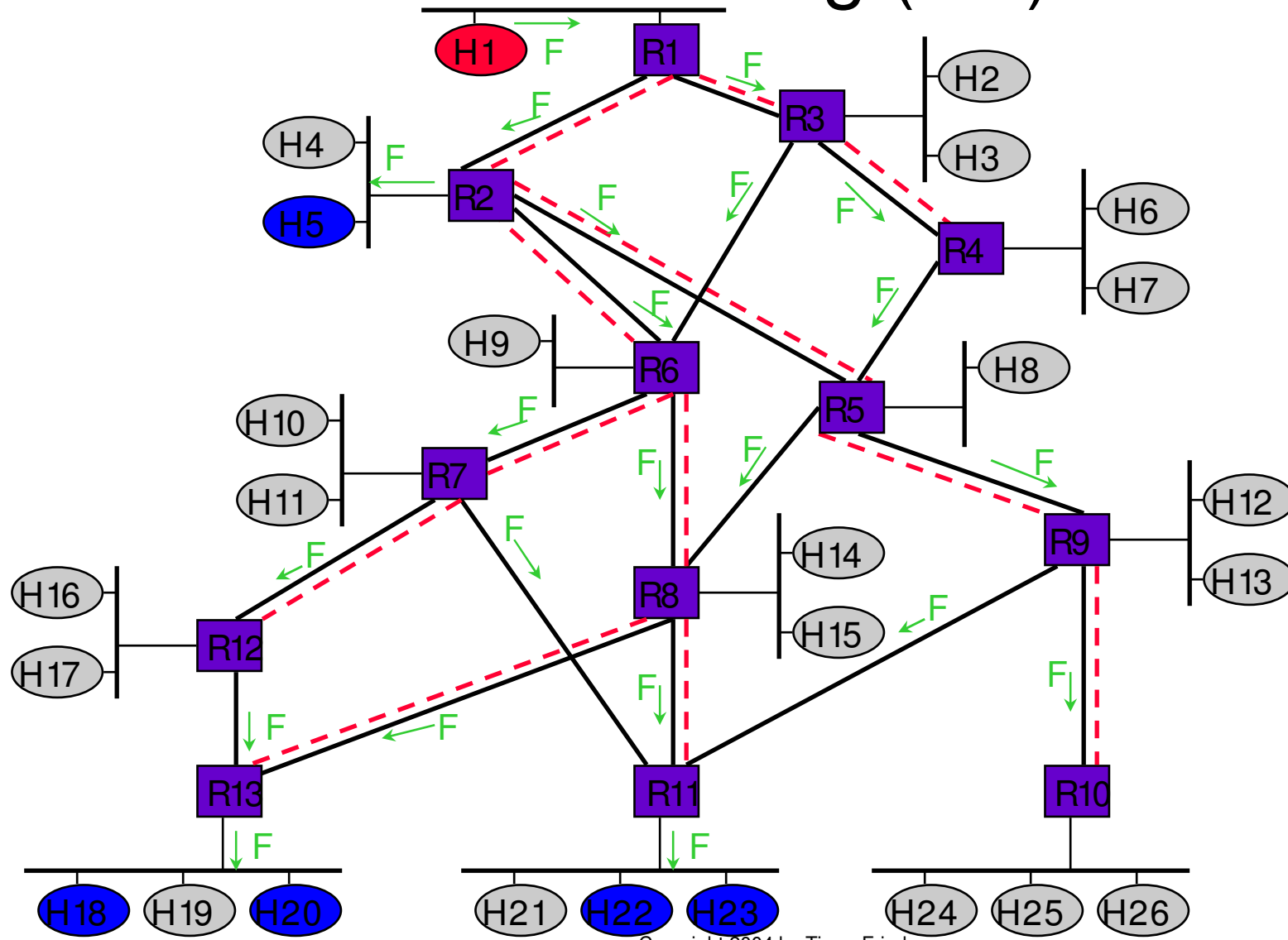


Copyright 2004 by Timur Friedman

Truncated Broadcasting (1/2)

- but : réduire le trafic sur les LAN feuilles
- idée : utiliser les informations d'appartenance fournies par IGMP pour déterminer s'il faut ou non Mcaster un paquet sur un LAN feuille
 - forme d'élagage (*pruning*) des feuilles
 - pas de réduction de trafic au cœur du réseau

Truncated Broadcasting (2/2)

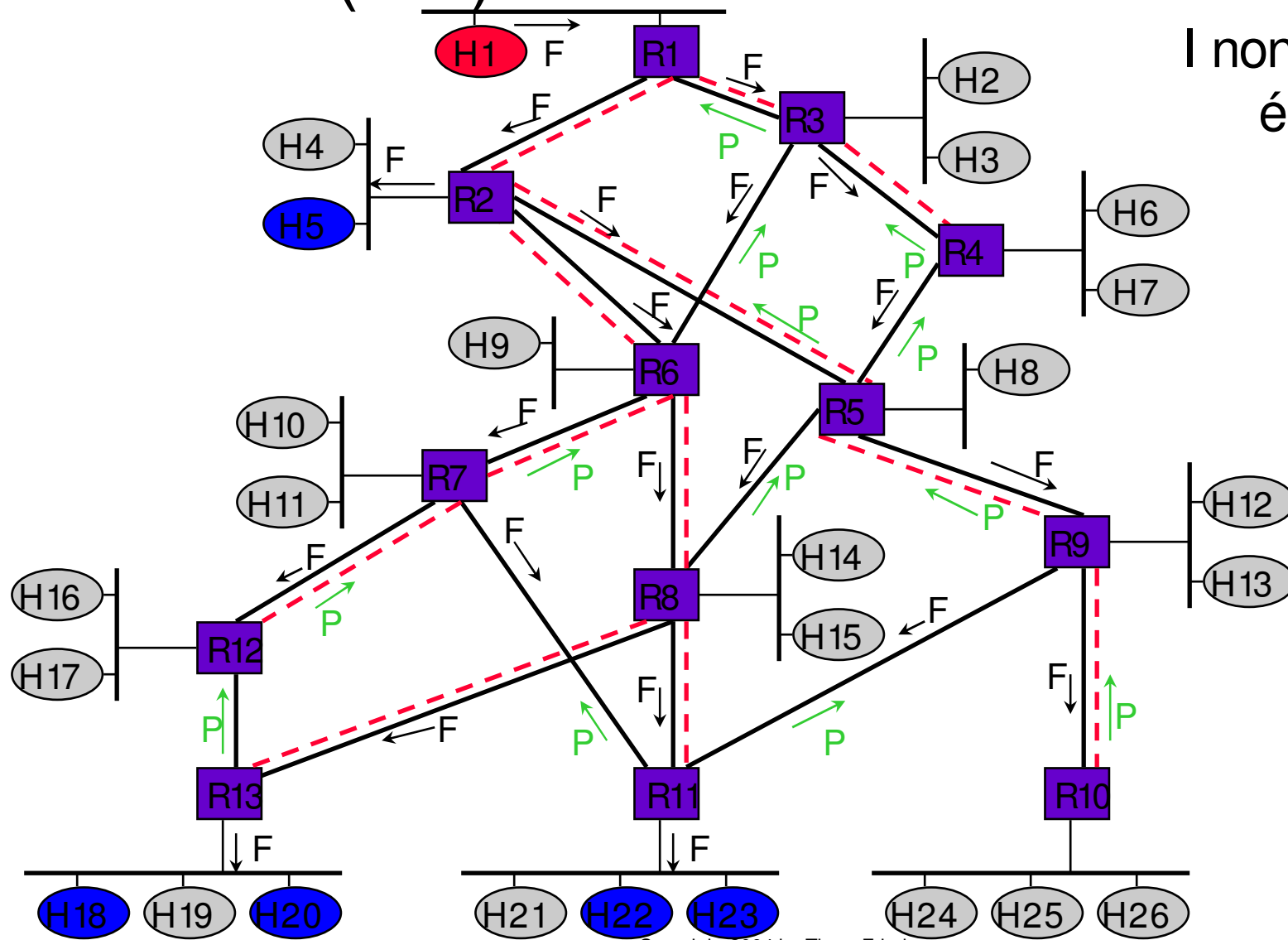


Copyright 2004 by Timur Friedman

DVMRP (1/6)

- RFC 1075 (Nov.88), draft Version 3 en cours
- *Distance Vector* Multicast Routing Protocol
- but : réduire le trafic au cœur du réseau
- principe : inondation et élagage (*flooding and pruning*)
 - s'il n'a pas de membre sur son LAN, un routeur feuille envoie un message `prune` à ses voisins
 - un routeur feuille peut envoyer un `prune` sur toutes ses if, sauf celle correspondant à son SP avec la source (i.e. l'if RPF)
 - quand un routeur intermédiaire reçoit un `prune` sur chacune de ses if, sauf l'if RPF, il remonte le `prune` en amont
 - quand un routeur envoie un `prune`, il mémorise la paire (Source, Groupe) pour laquelle le `prune` a été envoyé

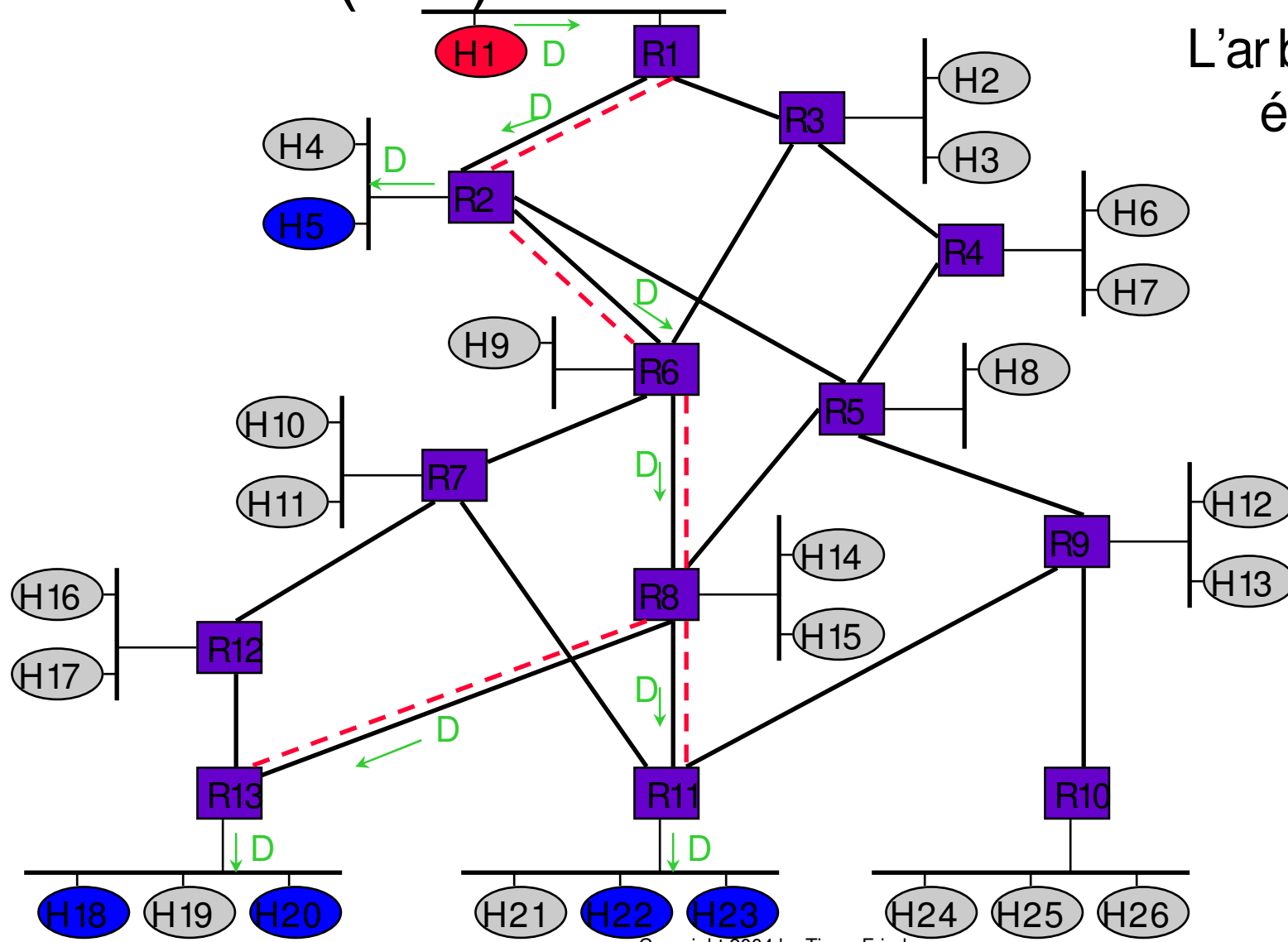
DVMRP (2/6)



l nondation et
élagage

Copyright 2004 by Timur Friedman

DVMRP (3/6)

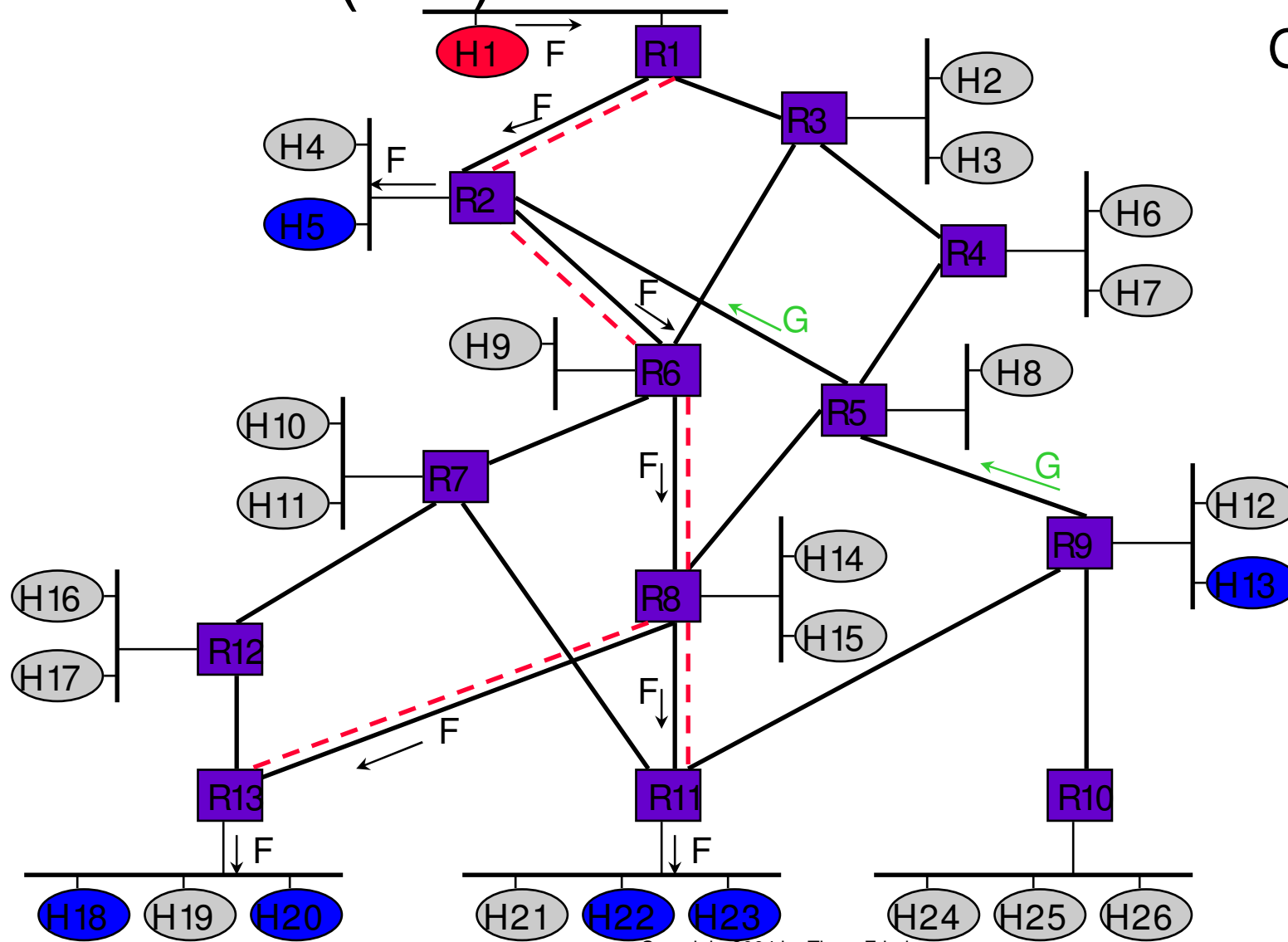


L'arbre après
élagage

Copyright 2004 by Timur Friedman

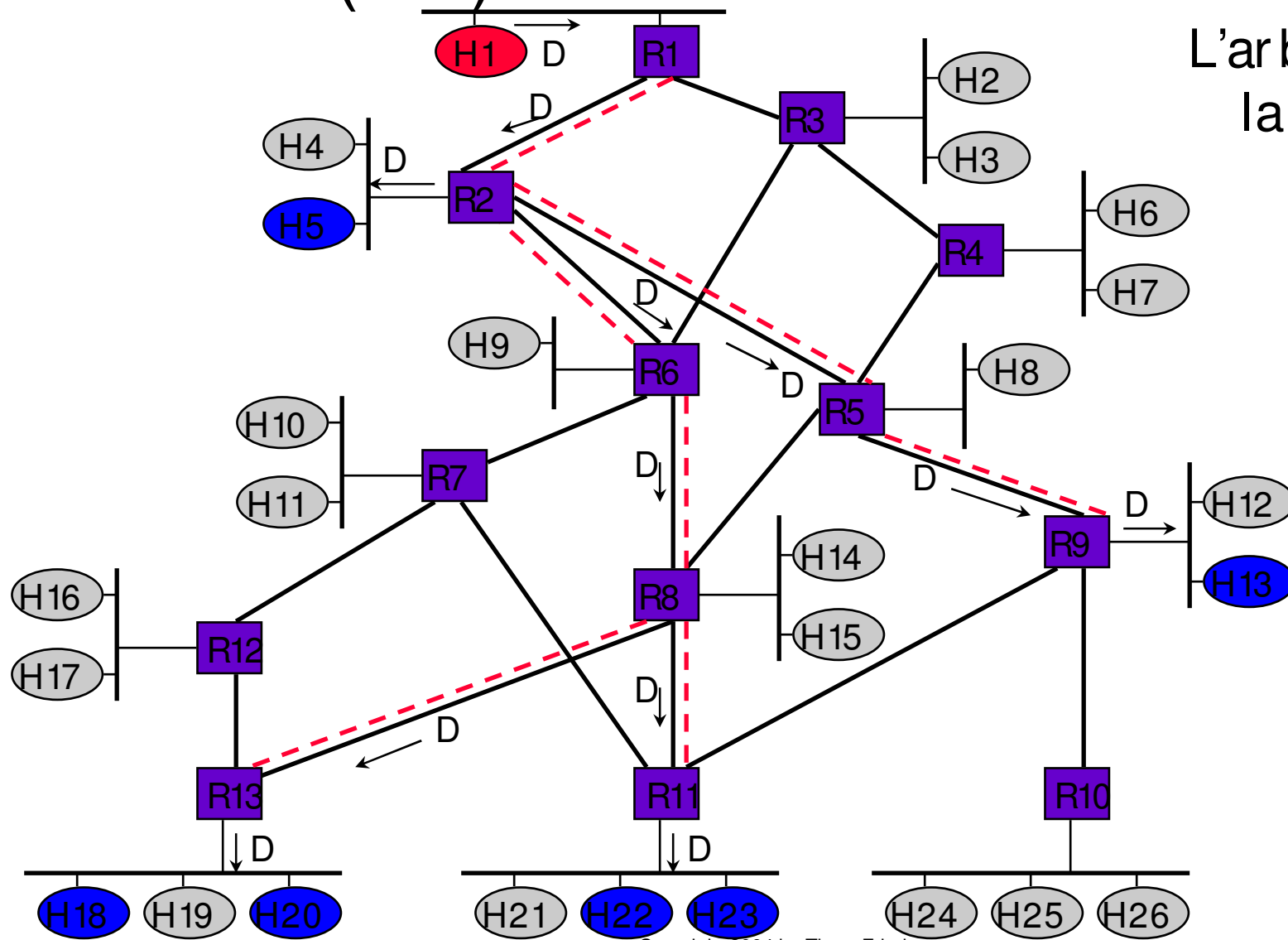
DVMRP (4/6)

G r e f f e



Copyright 2004 by Timur Friedman

DVMRP (5/6)



L'arbre après la greffe

Copyright 2004 by Timur Friedman

DVMRP (6/6)

- ☹ problèmes communs aux protocoles à vecteurs de distance (e.g. temps de convergence)
- ☹ processus périodique d'inondation et d'élagage pour chaque source
- ☹ mémorisation des enregistrements `prune` (Source, Groupe)

MOSPF

- RFC 1584 (March 94)
- Multicast Open Shortest Path First
- principe
 - opère dans un AS qui utilise OSPF pour l'unicast
 - étend OSPF en ajoutant les informations d'appartenance aux informations d'états des liens qui sont diffusées par OSPF
- ☹ problème : *scalability* avec la taille du réseau
 - mémorisation d'un enregistrement par groupe et par lien du réseau
 - un arbre par source

CBT (1/3)

- RFC 2189 et 2201 (Sept.97)
- Core Based Tree (Group-shared Tree)
- but : éviter les inconvénients de DVMRP et MOSPF
 - résistance au facteur d'échelle : un seul arbre pour le groupe
 - efficacité (éviter les inondations) : messages de Join et de Leave explicites
- principe : construire un arbre partagé, bidirectionnel, avec un cœur unique

CBT (2/3)

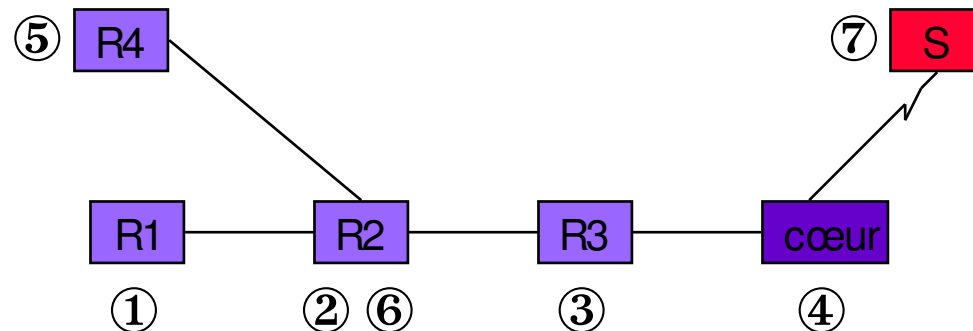
■ construction de l'arbre

- un routeur local qui a un nouveau membre pour un groupe envoie un message `join-request` vers le cœur en unicast
- le cœur ou le premier routeur sur le chemin faisant déjà partie de l'arbre répond par un `join-ack`
- chaque routeur ayant vu passer le `join-request` marque l'if sur laquelle il l'a reçu

■ maintien de l'arbre

- chaque routeur envoie périodiquement des `echo-request` à son routeur amont
- le routeur amont répond par des `echo-reply`
- si un routeur aval n'obtient pas de réponse au bout de N essais, il détache son sous-arbre en envoyant un `flush-tree`

CBT (3/3)



- ① R1 envoie un `join` (G) au cœur
- ② R2 marque l'if R2-R1 pour faire suivre ultérieurement les paquets
- ③ R3 marque l'if R3-R2
- ④ le cœur marque l'if cœur-R3
- ⑤ lorsque R4 rejoint G, son `join` s'arrête à R2
- ⑥ R2 marque l'if R2-R4
- ⑦ pour envoyer un paquet à G, S l'envoie en unicast au cœur qui fait suivre

😊 avantages

- pas d'inondation (vs. DVMRP)
- un hôte peut rejoindre/quitter un groupe sans délai (vs. DVMRP)
- un enregistrement par groupe avec les if sortantes (vs. DVMRP)
- pas de calcul explicite d'arbre (vs. MOSPF)

😞 inconvénients

- problèmes de fiabilité, robustesse et de congestion pour le cœur
- l'arbre n'est pas optimal pour toutes les sources

Copyright 2004 by Timur Friedman

PIM (1/3)

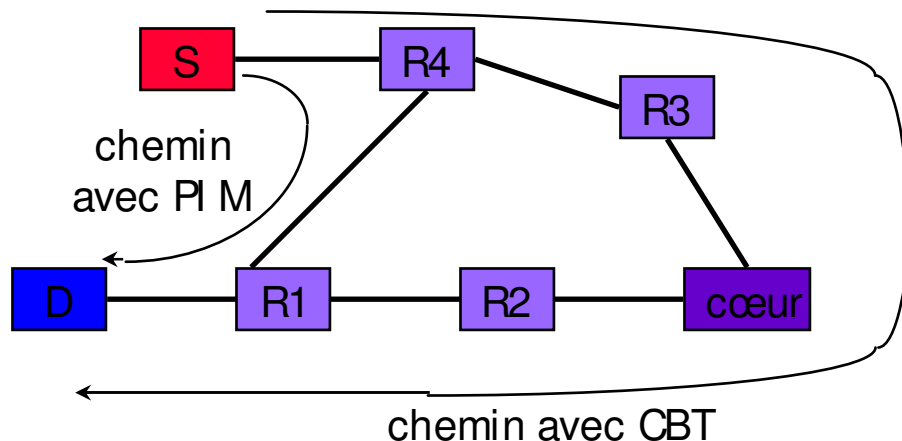
- RFC 2362 (June 98)
- Protocol Independent Multicast
- idée : distinction explicite de 2 scénarios de distribution
- le mode dense
 - les membres sont géographiquement concentrés dans une zone
 - idée : RPF avec *flood-and-prune*, similaire à DVMRP est alors raisonnable

PIM (2/3)

■ le mode épars

- les membres sont géographiquement éparpillés
- but : un routeur ne doit pas avoir à travailler, à moins de rejoindre un arbre
- principe : approche *center-based*, similaire à CBT
 - sauf :
 - pas d'acquittement en réponse au `join`
 - le `join` est envoyé périodiquement pour «rafraîchir» l'arbre
 - le point de RDV informe une source active d'arrêter d'émettre lorsqu'il n'y a plus de routeurs dans l'arbre
 - changement de mode possible : de l'arbre partagé vers l'arbre par source
 - les points de RDV émettent périodiquement en aval pour indiquer leur activité

PIM (3/3)



- R1 sait que son SP avec S passe par son if R1-R4
- or, R1 reçoit les paquets Mcast sur son if R1-R2
- R1 envoie un `join` à R4
- R1 envoie ensuite un `prune` au cœur
- le cœur arrête le transfert Mcast sur cœur-R2 et R2-R1

- 😊 le changement de mode permet de décharger le cœur
- 😊 en cas de panne du cœur, les hôtes ayant commuté de mode continuent de recevoir
- 😞 PIM ne dit pas comment un routeur détermine le point de RDV d'un groupe
- 😞 PIM ne dit pas comment déterminer si un groupe est dense ou éparpillé

Le Mbone (1/3)

■ problème

- pour mettre en œuvre le Mcast sur l'Internet, il faut que tous les routeurs aient des fonctions de Mcast et que les routeurs locaux supportent IGMP
- la plupart des routeurs de l'Internet ne supportent pas le Mcast !!!

■ idée

- bâtir des sous-réseaux capables de Mcast à la périphérie de l'Internet
- les interconnecter par des *tunnels*, les extrémités des tunnels sont des stations avec `mrouted` et un support de l'OS pour le Mcast

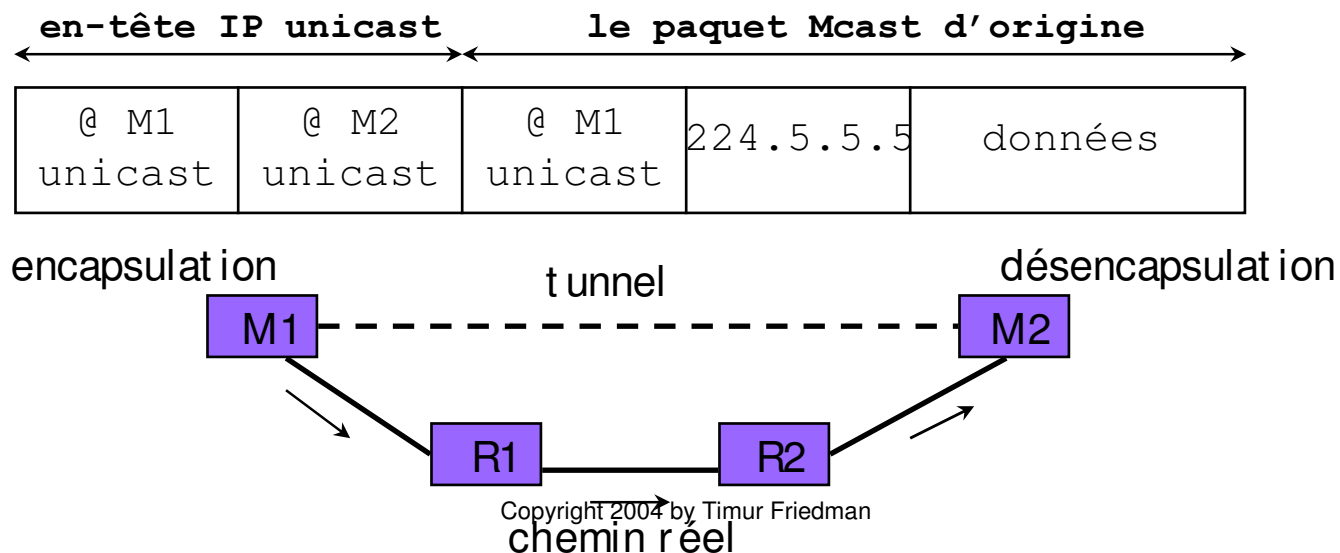
■ Multicast Backbone of the Internet

- réseau virtuel de recouvrement, solution transitoire
- premier tunnel en 88 entre BBN et Stanford
- des milliers de sous-réseaux aujourd'hui
- utilisé pour diffuser des sessions IETF ou des conf. IEEE/ACM

Le Mbone (2/3)

■ principe : le *tunneling*

- encapsulation des paquets Mcast transmis sur le Mbone dans des paquets IP classiques
 - l'extrémité du tunnel réceptrice détecte qu'elle a un paquet IP encapsulé dans un paquet IP (`protocol = 4`)
 - après désencapsulation, elle fait suivre le paquet Mcast
 - soit en local sur son sous-réseau, s'il a des hôtes membres
 - soit au prochain routeur Mcast, après ré-encapsulation



Le Mbone (3/3)

■ trafic

- les conférences génèrent typiquement 100-300 kbits/s (limité à 500 kbit/s)
- pas de mécanisme de «police» mais une déontologie de l'utilisateur

■ applications

- annuaires de session (`sd`, `sdr`)
- conférences audio (`vat`, `nevot`, `rat`)
- conférences vidéo (`nv`, `ivs`, `vic`, `nevit`)
- tableau blanc (`wb`)
- éditeur de textes (`nte`)
- jeux distribués interactifs (`MiMaze`)

Plan

- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
 - fiabilité
 - SRM
 - RMTP
- Perspectives de recherche

Fiabilité

■ peut-on étendre l'approche utilisée en unicast (ACK) ?

- chaque destination doit envoyer un ACK pour chaque (groupe de) message(s)
- un msg est retransmis jusqu'à réception d'un acquittement de chaque destinataire
- ☹ congestion du réseau
- ☹ implosion de la source

■ idée : utiliser des NAK

- le contrôle est déplacé de l'émetteur vers les récepteurs
- la source émet sans se préoccuper des ACK
- les récepteurs détectent les pertes sur «trous» de N° de séquence

■ de nombreux protocoles ont été proposés

- atomicité : soit 0 soit tous les récepteurs ont reçu le msg
- terminaison : le résultat d'une transm. est connu en un temps fini
- SRM, RMTP, RAMP, RMP, etc.

Copyright 2004 by Timur Friedman

SRM (1/2)

■ Scalable Reliable Multicast

- offre une transmission fiable, sans séquençement, «*scalable*» (car *receiver-based* + reprise en local)
- 2 composants
 - un composant *indépendant de l'application* : offre les mécanismes pour demander et récupérer les segments de données manquants
 - un composant *dépendant de l'application* : est responsable du nommage des segments de façon à ce qu'ils soient identifiés de manière unique par tout le groupe et de l'ordonnancement

■ idée : un segment manquant n'est pas forcément retransmis par la source

- sur détection d'une perte, la demande de retransm. est Mcastée
- le récepteur le plus proche du demandeur Mcaste la retransmission

SRM (2/2)

■ but : minimiser le trafic

- un seul membre demande la retransm.
- un seul membre retransmet le msg manquant

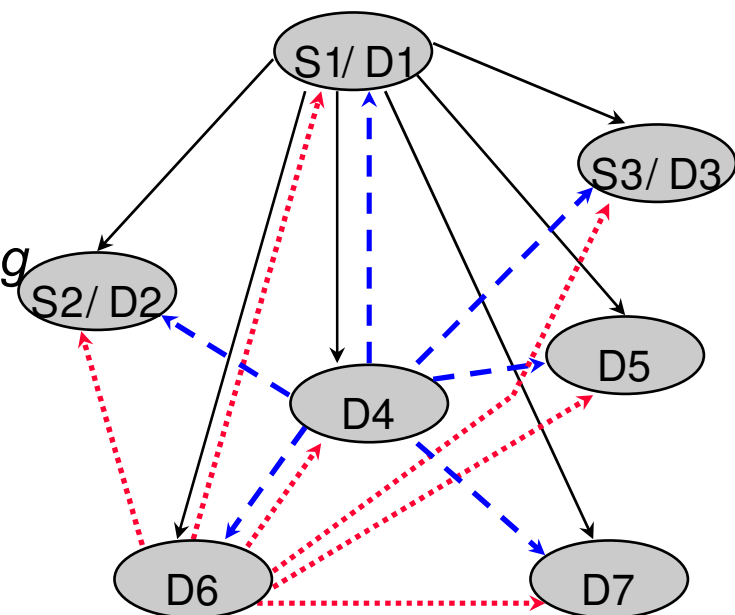
■ principe

- envoi des requêtes : *slotting + damping*
 - Request Timer
- envoi des retransmissions
 - Repair Timer

■ difficulté

- dimensionnement des Timers
 - estimation du RTT pour chaque paire (D_i, D_j)

hyp : D5, D6 et D7 ont un msg manquant



RMTP

■ Reliable Multicast Transport Protocol

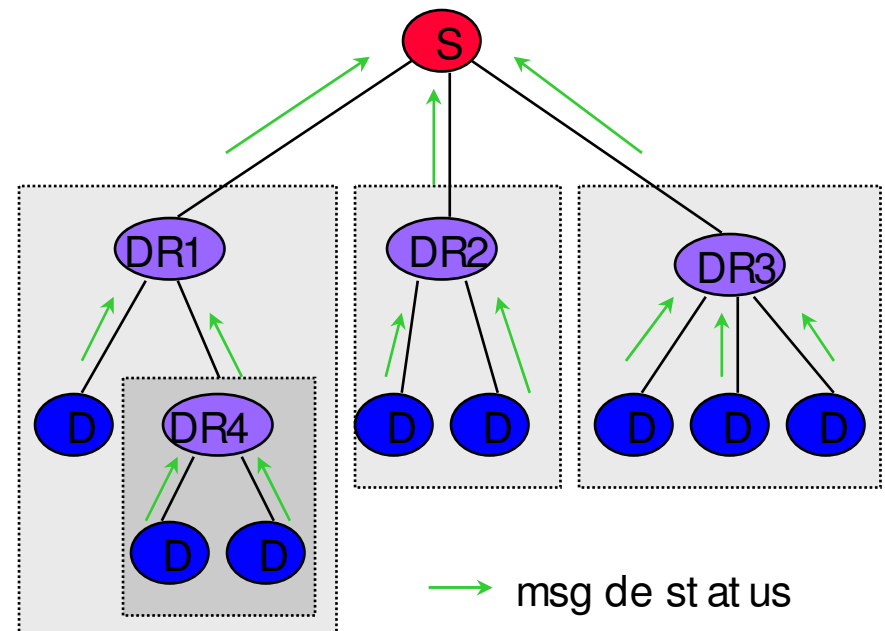
- offre une transmission point à multipoint, fiable, avec maintien de séquence

■ idées

- notion de hiérarchie
 - ☺ réduire l'implosion à la source
 - ☺ réduire les temps de réponse
- notion de reprise en local

■ principe

- les récepteurs sont groupés dans des régions locales
- il y a un DR (*Designated Receiver*) par région, chargé d'agréger les msg de status



■ difficulté : construire l'arbre logique

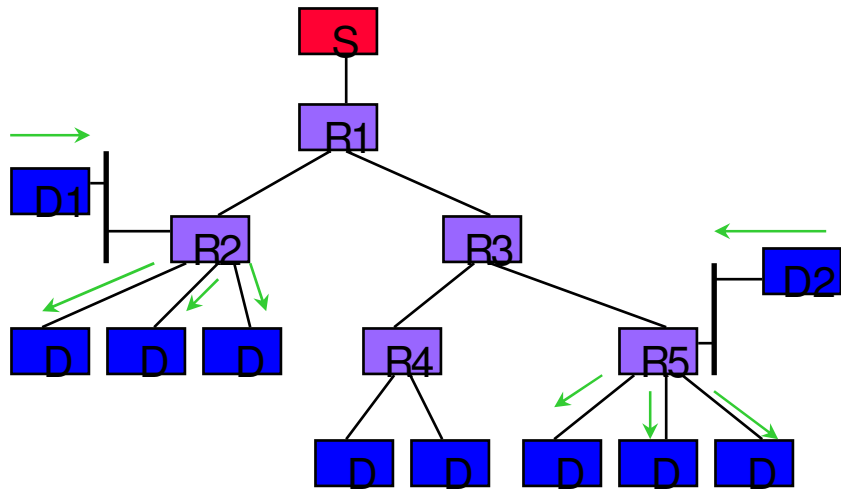
Copyright 2004 by Timur Friedman

Plan

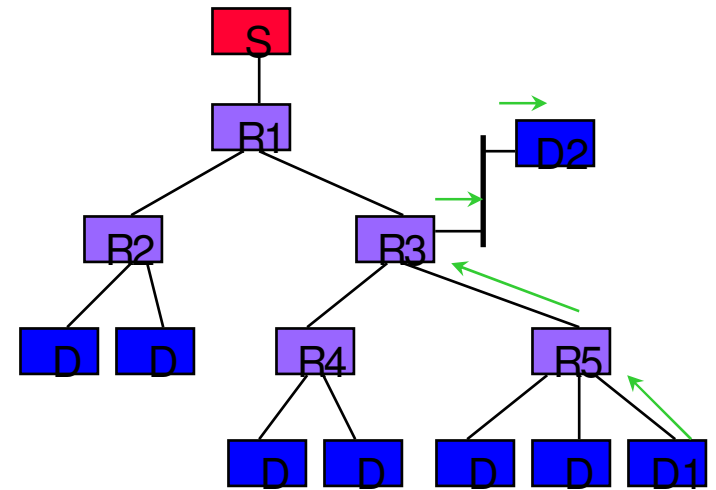
- Introduction
- Le multicast au niveau réseau
- Le multicast au niveau transport
- Perspectives de recherche
 - niveau réseau
 - niveau transport
 - niveau application

Perspectives au niveau réseau

■ adressage et routage à l'intérieur d'un groupe



multicast sur un sous arbre
(« subcasting »)



unicast vers un membre du groupe
(« reachcasting »)

■ routage multicast dans un réseau mobile

■ routage multicast avec QoS

Perspectives au niveau transport

- contrôle de flux/congestion
- fiabilité assistée par les routeurs
- auto-configuration des membres du groupe

Perspectives au niveau application

- allocation des adresses multicast
- nommage d'objets partagés

Bibliographie

- [RFC 1112] S. Deering, «Host Extensions for IP Multicasting», August 1989.
- [RFC 1075] D. Waitzman, S. Deering, C. Partridge, «Distance Vector Multicast Routing Protocol», November 1988.
- [RFC 1584] J. Moy, «Multicast Extensions to OSPF», March 1994.
- [RFC 2189] A. Ballardie, «Core Base Trees (CBT Version 2) Multicast Routing: Protocol Specification», September 1997.
- [RFC 2201] A. Ballardie, «Core Base Trees (CBT Version 2) Multicast Architecture», September 1997.
- [RFC 2236] R. Fenner, «Internet Group Management Protocol, Version 2», November 1997.
- [RFC 2362] D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma, L. Wei, «Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification, June 1998.
- C. Diot, W. Dabbous, J. Crowcroft, «Multipoint Communication: A Survey of Protocols, Functions and Mechanisms», IEEE JSAC, Vol.15, N°3, April 1997.
- S. Floyd, V. Jacobson, S. McCanne, C.G. Liu, L. Zhang, «A Reliable Multicast Framework for Lightweight Sessions and Applications Level Framing», Proc. of ACM SIGCOMM'95, October 1995.
- S. Paul, K.K. Sabnani, J.C. Lin, S. Bhattacharyya, «Reliable Multicast Transport Protocol (RMTP)», IEEE JSAC, Vol.15, N°3, April 1997.
- S. Paul, «Multicasting on the Internet and its Applications», Kluwer Academic Publishers, 1998.
- <http://www.mbone.com>