

Chapitre 6

Couche Réseau : Protocoles

IP

- IP permet l'identification de tout équipement (grâce à l'adressage IP).
- IP permet l'échange de datagrammes entre tout couple d'équipements.
- Objectif : faire le mieux possible (best effort delivery) pour transmettre les datagrammes de leur source vers leur destination.

05/12/03

Autour de IP

5

Plan

- Introduction
- Datagramme IP
- Sous-réseaux
- ARP
- ICMP

05/12/03

Autour de IP

2

Hierarchie sur Internet

- Réseaux fédérateurs (épines dorsales ou backbones) : artères à très haut débit + routeurs très rapides
- Réseaux régionaux (plaques régionales) : grands réseaux d'opérateurs de Télécoms ou des réseaux spécialisés
- Réseaux locaux

05/12/03

Autour de IP

6

Introduction

Communication via IP 1/2

- La couche transport (protocole TCP) découpe le flux de données en **datagrammes IP**.
- Taille maximale d'un datagramme : 64 Ko en théorie, en pratique dépasse rarement 1500 o.
- Chaque datagramme est transmis au travers du réseau Internet. Il peut être re-découpé en **fragments IP**.

05/12/03

Autour de IP

7

Internet

- Internet est un ensemble de réseaux autonomes interconnectés pour constituer un vaste environnement au niveau mondial.
- Tous ces réseaux hétérogènes peuvent coopérer grâce au protocole IP.

05/12/03

Autour de IP

4

Communication via IP 2/2

- À destination, tous les morceaux sont ré-assemblés par la couche réseau pour recomposer le datagramme.
- La couche transport reconstitue le flux de données initial pour la couche applicative.

05/12/03

Autour de IP

8

Datagramme IP

Champs d'en-tête 2/4

- Longueur totale : en octets (16 bits)
- Identification : permet au destinataire de savoir à quel datagramme appartient un fragment (16 bits)
- Drapeau : 3 bits
 - DF : “ Don’t fragment ”
 - MF : “ More fragments ”
 - 1bit inutilisé

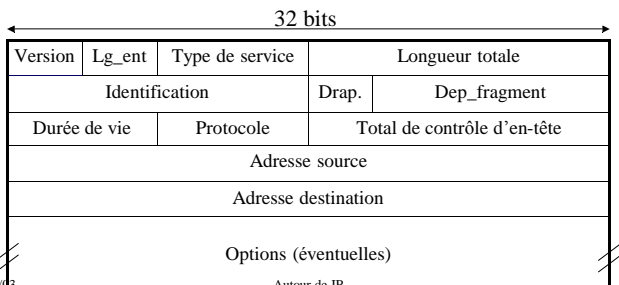
05/12/03

Autour de IP

13

Datagramme IP 1/2

- En-tête : partie fixe (20 o.) + partie opt. Variable
- Données : **charge utile** du datagramme



05/12/03

Autour de IP

10

Champs d'en-tête 3/4

- Dep_fragment : localisation du déplacement du fragment dans le datagramme (13 bits)
- Durée de vie (TTL) : compteur utilisé pour limiter la durée de vie des datagrammes (8 bits) :
 - décrémente à chaque saut
 - détruit quand passe à 0
- Protocole : indique par un numéro à quel protocole confier le contenu du datagramme (TCP ou UDP) (8 bits)

05/12/03

Autour de IP

14

Datagramme IP 2/2

- Transmis de la gauche vers la droite.
- Chaque ordinateur convertit l'en-tête de sa représentation locale vers la représentation standard d'Internet.
- Le récepteur effectue la conversion inverse.
- Le champ *données* n'est pas converti.

Champs d'en-tête 4/4

- Total de contrôle d'en-tête : vérifie la validité de l'en-tête, doit être recalculé à chaque saut (16 bits)
- Adresse source : 32 bits
- Adresse destination : 32 bits
(→ voir adresses IP)

05/12/03

Autour de IP

11

05/12/03

Autour de IP

15

Champs d'en-tête 1/4

- Version : numéro de la version du protocole utilisé pour créer le datagramme (4 bits)
- Lg_ent : longueur de l'en-tête exprimée en mots de 32 bits (4 bits)
- Type de service : précise le mode de gestion du datagramme (8 bits)
 - Priorité : 0 (normal) → 7 (supervision réseau) (3 bits)
 - Indicateurs : délai (D), débit(T), fiabilité (R)
 - 2 bits inutilisés

Champs optionnels 1/2

- Longueur variable
- Commencent par un octet d'identification
- Longueur totale est un multiple de 4 octets
- Sécurité : indique le niveau de secret du datagramme (perverti en pratique)
- Routage strict défini par la source : utilisé pour router un datagramme sur un chemin intégralement spécifié

05/12/03

Autour de IP

12

05/12/03

Autour de IP

16

Champs optionnels 2/2

- Routage large défini par la source : donne une liste de routeurs obligatoires
- Enregistrement de route : utilisé pour enregistrer un itinéraire, chaque routeur fournissant son adresse IP au datagramme
- Horodatage : chaque routeur joint son adresse IP et une horodate au datagramme

05/12/03

Autour de IP

17

Adresses IP particulières 1/2

- Adresse réseau : il faut réserver une adresse qui permet d'identifier un réseau pour permettre un routage efficace → id_ord = 0
- Adresse de diffusion (broadcast address) : désigne tous les ordinateurs d'un même réseau (tous les bits d'id_ord sont à 1)
 - dépend du réseau associé –
- Identificateur 0 : « cet objet », la valeur « 0 » désigne « ce » réseau/ « cet » ordinateur.

05/12/03

Autour de IP

21

Les adresses IP

- Chaque ordinateur et chaque routeur du réseau Internet possède une adresse IP qui définit un identifiant de réseau et un identifiant d'ordinateur.
- Cette combinaison est unique.
- Les ordinateurs connectés simultanément sur plusieurs réseaux possèdent une adresse IP différente sur chaque réseau.

05/12/03

Autour de IP

18

Adresses IP particulières 2/2

- Adresse de diffusion limitée : tous les bits sont à 1, diffusion locale
- Adresse de rebouclage : 127.x.y.z pour les communications inter-processus sur un même ordinateur ou pour tester des logiciel TCP/IP → aucun routeur/ordinateur ne doit propager des informations relatives à l'adresse 127

05/12/03

Autour de IP

22

Format des adresses IP

Adresse sur 32 bits :

8 bits	8 bits	8 bits	8 bits	
0	id_res		id_ord	Classe A
10	id_res		id_ord	Classe B
110	id_res		id_ord	Classe C
1110	adresse multidestinataire			Classe D
11110	réservé pour usage ultérieur			Classe E

05/12/03

Autour de IP

19

Faiblesse de l'adressage IP 1/2

1. L'adressage IP fait référence non pas à un ordinateur mais à un point d'entrée du réseau → ordinateur déplacé ⇒ modification de son adresse IP
2. Croissance d'un réseau qui dépasse 255 ordinateurs ⇒ il faut obtenir une adresse de classe B et modifier les adresse réseaux : long + difficile à mettre au point

05/12/03

Autour de IP

23

Notation décimale pointée

- Pour des raisons de commodité de lecture, les adresses IP sont représentées par 4 entiers décimaux séparés par des points, chacun des 4 octets de l'adresse IP est transcrit en notation décimale, entre 0 et 255.
 - Plage : 0.0.0.0 → 255.255.255.255
- Certaines adresses sont absentes, elles correspondent à des adresses réservées.

05/12/03

Autour de IP

20

Faiblesse de l'adressage IP 2/2

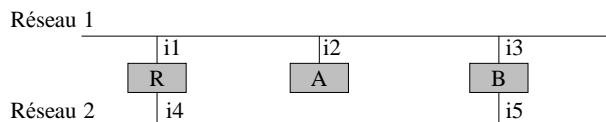
3. Le routage utilise la partie réseau de l'adresse IP ⇒ la route empruntée pour rejoindre une machine à plusieurs adresses IP dépend de l'adresse réseau fournie.
4. La connaissance d'une adresse IP peut être insuffisante pour atteindre une machine (à plusieurs adresses IP).

05/12/03

Autour de IP

24

Exemple



Si l'adresse i3 tombe en panne (par exemple, rupture de la connexion entre B et Réseau 1), l'ordinateur A peut joindre B avec l'adresse i5 mais pas avec l'adresse i3 !

05/12/03

Autour de IP

25

Masque de sous-réseaux

- Les bits correspondant à id_res et à la partie désignant le sous-réseau de id_ord sont tous mis à 1, les autres à 0.
- Pour trouver l'adresse du sous-réseau auquel appartient un ordinateur, on fait un ET logique entre le masque de sous-réseau du réseau et l'adresse IP de l'ordinateur.

05/12/03

Autour de IP

29

Gestion des adresses IP

- Seul le NIC (Network Information Center) est habilité à délivrer les numéros d'identification de réseau (id_res)
- Le relais en France est assuré par l'AFNIC (INRIA).
- Pour en savoir plus : RFC 1700

05/12/03

Autour de IP

26

Exemple de masque

- adresse réseau : 130.50.0.0
- sous-réseau 1 : 130.50.4.0
- sous-réseau 2 : 130.50.8.0
- ...
- masque : 111...11111110000000000

255.255.252.0

05/12/03

Autour de IP

30

Les sous-réseaux

- On peut découper un réseau en plusieurs entités à usage interne, alors que l'ensemble continue à se comporter comme un seul réseau vis-à-vis de l'extérieur.
- Ces entités sont appelés des sous-réseaux.
- Le champ d'identification de l'ordinateur est subdivisé en 2 parties : id_sous_rés et id_ord.

05/12/03

Autour de IP

27

Utilisation du masque

À quel sous-réseau appartient la machine d'adresse IP 130.50.15.6 ?

1000010 00110010 00001111 00000110

ET_{logique}

11111111 11111111 11111100 00000000

1000010 00110010 00001100 00000000

→ Elle appartient au réseau 130.50.12.0

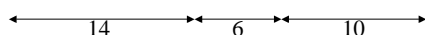
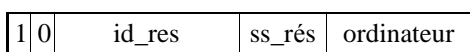
05/12/03

Autour de IP

31

Exemple de sous-réseaux

- Un réseau de classe B : 16 bits pour id_ord
6 bits pour identifier le sous-réseau
10 bits pour l'ordinateur
⇒ permet de définir 62 réseaux locaux



05/12/03

Autour de IP

28

Datagramme ARP

Adresses physiques et logiques

- Les adresses IP ne sont pas utilisées directement pour l'acheminement des datagrammes, car ceux-ci sont passés à la couche liaison de données qui utilise ses adresses propres pour acheminer les trames.
- adresses propres \neq adresses IP
- Les ordinateurs sont connectés à un réseau par une carte de communication qui ne reconnaît que les adresses physiques propres à ce réseau.

05/12/03

Autour de IP

33

Protocole ARP (optimisation)

- Utiliser un cache pour conserver les adresses Ethernet des machines les plus souvent accédées.
- Un ordinateur diffuse sa correspondance d'adresses au démarrage \Rightarrow permet la mise à jour des caches ARP des ordinateurs présents sur le réseau (réponse si une autre machine possède déjà la même adresse IP).

05/12/03

Autour de IP

37

Résolution des adresses physiques

- Dans le cas d'un réseau Ethernet, toute carte à une adresse physique sur 48 bits (affectée à la fabrication et délivrée par l'IEEE).
- adresse IP (32 bits) \neq adresse Ethernet (48)
- Comment interpréter les adresses IP en adresses physiques ?

05/12/03

Autour de IP

34

Protocole RARP

Problème :

pour une adresse Ethernet donnée, quelle est l'adresse IP correspondante ? \rightarrow protocole Reverse ARP

05/12/03

Autour de IP

38

Protocole ARP

- On émet un datagramme en mode diffusion générale qui demande « Qui possède l'adresse IP x.y.z.t ? » à chaque ordinateur du réseau.
- Chaque ordinateur vérifie sa propre adresse et seule la machine concernée se reconnaît et envoie en réponse son adresse Ethernet.

05/12/03

Autour de IP

35

Protocole RARP (fonctionnement)

- Pose la question : « mon adresse Ethernet est X. Y-a-t-il quelqu'un qui connaisse mon adresse IP ? » (diffusion limitée)
- Le serveur RARP capte la demande, consulte les adresses Ethernet de ses fichiers de configuration, et renvoie l'adresse IP à l'ordinateur concerné.

05/12/03

Autour de IP

39

Protocole ARP

- Le protocole qui effectue cette tâche est le protocole Address Resolution Protocol.
- Sa simplicité constitue son avantage.
- L'administrateur du réseau doit juste affecter les adresses IP et les masques de sous-réseau, ARP prend le reste en charge.

05/12/03

Autour de IP

36

ICMP

ICMP

Internet Control Message Protocol

- Échange de message d'erreur et de supervision
- Une douzaine de messages différent

05/12/03

Autour de IP

41

ICMP (quelques messages)

Type	Signification
0	réponse à une demande d'écho
3	destination inaccessible
4	limitation de production de la source
8	demande d'écho
11	expiration TTL
...	

05/12/03

Autour de IP

45

ICMP (traitement)

- Un message ICMP est encapsulé dans un datagramme IP.
- Un datagramme contenant 1 message ICMP est traité exactement comme les autres sauf dans le cas où un datagramme contenant un message d'erreur causerait lui-même une erreur : aucun message ICMP ne doit être engendré à propos de datagrammes contenant déjà des messages ICMP.

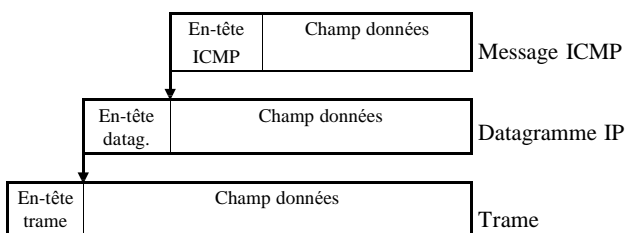
05/12/03

Autour de IP

42

Routage IP

ICMP (encapsulation)



05/12/03

Autour de IP

43

Le routage IP

- Environnement Internet = interconnexion de plusieurs réseaux physiques par des routeurs
- Chaque routeur est connecté directement à 2 ou plusieurs réseaux (en général, les hôtes ne sont connectés qu'à un seul réseau)

05/12/03

Autour de IP

47

ICMP (format)

- Chaque message ICMP a un format propre.
- Ils commencent tous par 3 champs :
 - type (8 bits)
 - code (8 bits) info. supplémentaire sur le type
 - total de contrôle (16 bits)
- + 64 premiers bits du datagramme ayant provoqué l'erreur

05/12/03

Autour de IP

44

Remise directe de datagrammes

- Transfert direct de datagrammes entre 2 ordinateurs
- Transmettre un datagramme entre 2 ordinateurs connectés au même réseau ne met pas en jeu de routeurs
- Remise directe = même fonctionnement que la remise de tout datagramme sur le tronçon final d'une route

05/12/03

Autour de IP

48

Remise indirecte

- Il faut identifier un routeur vers lequel envoyer un datagramme (+ complexe)
- Les routeurs forment une structure coopérative
- Un datagramme transite de routeur en routeur jusqu'à ce que l'un d'entre eux puisse le remettre directement à son destinataire.

05/12/03

Autour de IP

49

Routage d'ordinateur à ordinateur

- On peut définir des routes d'ordinateur à ordinateur (bien que le routage soit fondé sur les adresses réseau et pas sur les adresses ordinateur).
- Ceci permet de contrôler le réseau et d'en sécuriser les accès.

05/12/03

Autour de IP

53

Tables de routage

- Ne contiennent que les identifiants réseau des adresses IP
- La table contient, pour chaque numéro de réseau à atteindre, l'adresse IP du routeur le plus proche
- Chaque routeur possède une liste de couples (réseau, 0) [définit comment accéder à un réseau distant] ou (ce_réseau, ordinateur) [comment accéder à un ordinateur du réseau local].

05/12/03

Autour de IP

50

Algorithme de routage IP

Route_datagramme_IP(datagramme, table de routage)

```
Extraire l'adresse IP destination, D, du datagramme
Calculer l'adresse réseau destination N
si N est une adresse réseau directement accessible
    alors envoyer directement le datagramme vers sa destination D
sinon
    si la table de routage indique que D est un routage d'ordi. à ordi.
        alors transmettre le datag. vers le saut suivant précisé dans la table
    sinon
        si la table de routage contient une route pour le réseau N,
            alors transmettre le datag. vers le saut suivant précisé dans la table
        sinon
            si il existe une route par défaut
                alors transmettre le datag. vers le routeur par défaut précisé dans la
table
            sinon déclarer une erreur de routage
        fsi
    fsi
fsi
```

05/12/03

Autour de IP

54

Routage par saut successifs

- La table de routage ne contient que l'adresse du routeur suivant sur le chemin qui mène au réseau recherché
- Les tables de routage ne contiennent que les adresses des routeurs directement accessibles
→ Info masquée (table de petite taille).

05/12/03

Autour de IP

51

Utilisation des adresses IP (1)

- Seuls les champs « durée de vie » et « total de contrôle » sont modifiés par les routeurs.
- Les champs source et destination ne sont pas affectés : ils contiennent toujours l'adresse de l'émetteur initial et celle du destinataire final.

05/12/03

Autour de IP

55

Routage par défaut

Si aucune route n'apparaît pour un réseau donné, les procédures de routage envoient le datagramme à un routeur par défaut.

05/12/03

Autour de IP

52

Utilisation des adresses IP (2)

- L'adresse du saut suivant n'est pas conservée dans le datagramme mais elle est transmise avec le datagramme à l'interface réseau qui doit transmettre le datagramme.
- Cette interface calcule l'adresse physique correspondante, encapsule le datagramme dans une trame puis transmet le tout sur le réseau.

05/12/03

Autour de IP

56

Utilisation des adresses IP (3)

Pourquoi la table de routage contient l'adresse IP et non pas l'adresse physique ?

1. C'est plus facile à comprendre pour la manipulation et vérification des routes.
2. Le protocole IP a pour but de construire un système abstrait qui masque le détail des réseaux.

05/12/03

Autour de IP

57

Gestion des datagrammes entrants (1)

Comment reconnaître qu'un datagramme est arrivé à destination ?

- Ordinateur : si l'adresse de l'ordinateur coïncide avec l'adresse de destination, on transmet le datagramme au logiciel IP chargé de le traiter, sinon, on le détruit.
- Routeur : Si le datagramme n'a pas atteint sa destination finale, le logiciel IP le route.

05/12/03

Autour de IP

58

Gestion des datagrammes entrants (2)

- Il faut comparer l'adresse IP de destination avec celle de chacun des réseaux auxquels appartient le routeur/l'ordinateur.
- Il faut aussi accepter les datagrammes dont l'adresse de destination correspond à l'adresse de diffusion limitée ou dirigée d'un des réseaux où est raccordé l'ordinateur.

05/12/03

Autour de IP

59

Routage en présence de sous-réseaux

Route_datagramme_IP(datagramme, table de routage)

Extraire l'adresse IP destination, ID, du datagramme

Calculer l'adresse réseau destination IN

si IN est une adresse réseau directement accessible

alors envoyer directement le datagramme vers sa destination ID

sinon

pour chaque entrée de la table de routage faire

N = ID ET_logique masque de sous-réseau

Si N est égal au champ réseau de l'entrée

alors router le datag. Vers le routeur correspondant

fsi

fpour

si aucune correspondance n'a été trouvée

alors signaler une erreur de routage

fsi

fsi

05/12/03

Autour de IP

60