DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

www.cea.fr

Sécurité des protocoles Internet

DNS

Pascal MALTERRE

Direction des applications militaires
Département des sciences de la simulation et de l'information
Cellule technique de sécurité informatique

3 décembre 2014

Historique

A l'origine, les noms des machines présentes sur le réseau étaient listés dans un simple fichier texte (`HOSTS.TXT`), mis à jour par le NIC (*Network Information Center*).

- Ce fichier était quotidiennement téléchargé en FTP par l'ensemble des machines du réseau

Nombreux problèmes :

- Bande passante consommée par les mises à jour FTP
- L'accroissement du nombre de serveurs rend difficile la maintenance de ce fichier

Qu'est-ce que le DNS ?

DNS (*Domain Name System*)

Base de données **distribuée** sur laquelle s'appuient les applications TCP/IP pour établir une correspondance entre les noms des machines et leurs adresses IP

Base de données "distribuée"

- A un instant donné, aucun serveur ne dispose de toute les informations de la base
- Chaque entité maintient sa propre base de données et fournit un service que les autres systèmes peuvent utiliser

Principales fonctionnalités

Les spécifications du DNS incluent :

- Un protocole réseau (UDP/53) permettant aux clients et aux serveurs de communiquer
- Le DNS fournit également des informations de routage pour les mails

Importance de la disponibilité du service

Le DNS est un système vital pour le fonctionnement des réseaux TCP/IP et particulièrement pour Internet

Spécifications officielles

- Les premières spécifications ont été posées dans les RFCs 882 et 883 (Paul Mockapetris, 1983)
- Le fonctionnement actuel est décrit en grande partie par les spécifications suivantes :

  RFC-1034 "Concept and Facilities"
  RFC-1035 "Implementation and Specification"

- De nombreuses extensions ont été spécifiées dans des RFCs supplémentaires, par exemple :

  RFC-2535 "DNS Security Extensions (DNSSEC)"
  RFC-2136 "Dynamic Updates in the DNS"
  ...

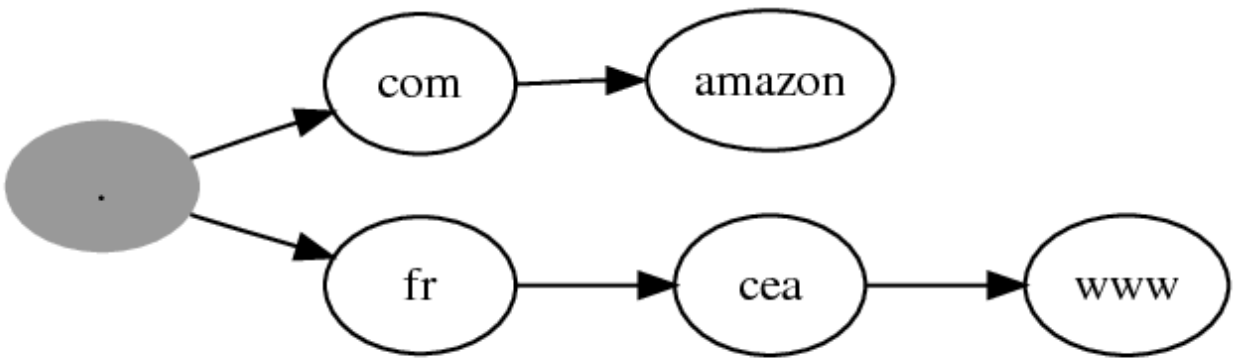
Les principales implémentations

- L'implémentation la plus utilisée est `BIND`
  - Berkeley (*Buggy*) Internet Name Domain Server
- Microsoft DNS Server
- djbdns
- NSD (NLNet Labs)
- PowerDNS, MaraDNS, etc.

L'espace de nommage du DNS

L'espace des noms DNS est organisé selon une **structure arborescente**.

- Chaque noeud (et feuille) de l'arbre représente un nom DNS, et on y associe un ensemble (éventuellement vide) de données de différents types
- Une requête DNS a pour objectif de récupérer les données d'un certain type associées à un nom



La notion de *resolver*

Au niveau applicatif, l'accès au service DNS s'effectue à travers un "resolver". Le plus souvent, il s'agit d'une librairie dynamique fournie par le système d'exploitation :

- Le *resolver* ne fait pas partie de la pile TCP/IP
- Fonctions `gethostbyname()` et `gethostbyaddr()`

La notion de nom de domaine

Un nom de domaine qui se termine par un point est appelé nom de domaine absolu ou nom de domaine pleinement qualifié (FQDN)

Exemple

`chani.dif.dam.intra.cea.fr.`

Si le nom de domaine ne se termine pas par un point, il a besoin d'être complété : ce mécanisme dépend du resolver utilisé

Exemple

Les directives `domain` et `search` dans le fichier `/etc/resolv.conf` sous Unix

Les domaines de niveaux supérieurs

TLD (*Top-Level Domain*)

Dernier label (le plus à droite) d'un nom de domaine

Différentes catégories

- ARPA est un domaine spécial ("*infrastructure TLD*") utilisé pour les correspondances adresses IP vers noms
- Les domaines basés sur les codes de pays de la norme ISO 3166 et codés sur deux caractères ("*country-code TLD*")
- Les domaines génériques : `.com`, `.net`, etc.

Les domaines génériques

Historiquement, on trouve sept domaines génériques de niveaux supérieurs destinés à des utilisations spécifiques (enfin en théorie !)

`.com`	organisation commerciales
`.edu`	institutions éducatives
`.gov`	organisations gouvernementales US
`.mil`	militaire US
`.int`	organisations internationnales
`.org`	autres organisations
`.net`	réseau

Remarque

- Nouveaux domaines : `.museum`, `.info`, `.biz`, etc.

Le principe de délégation

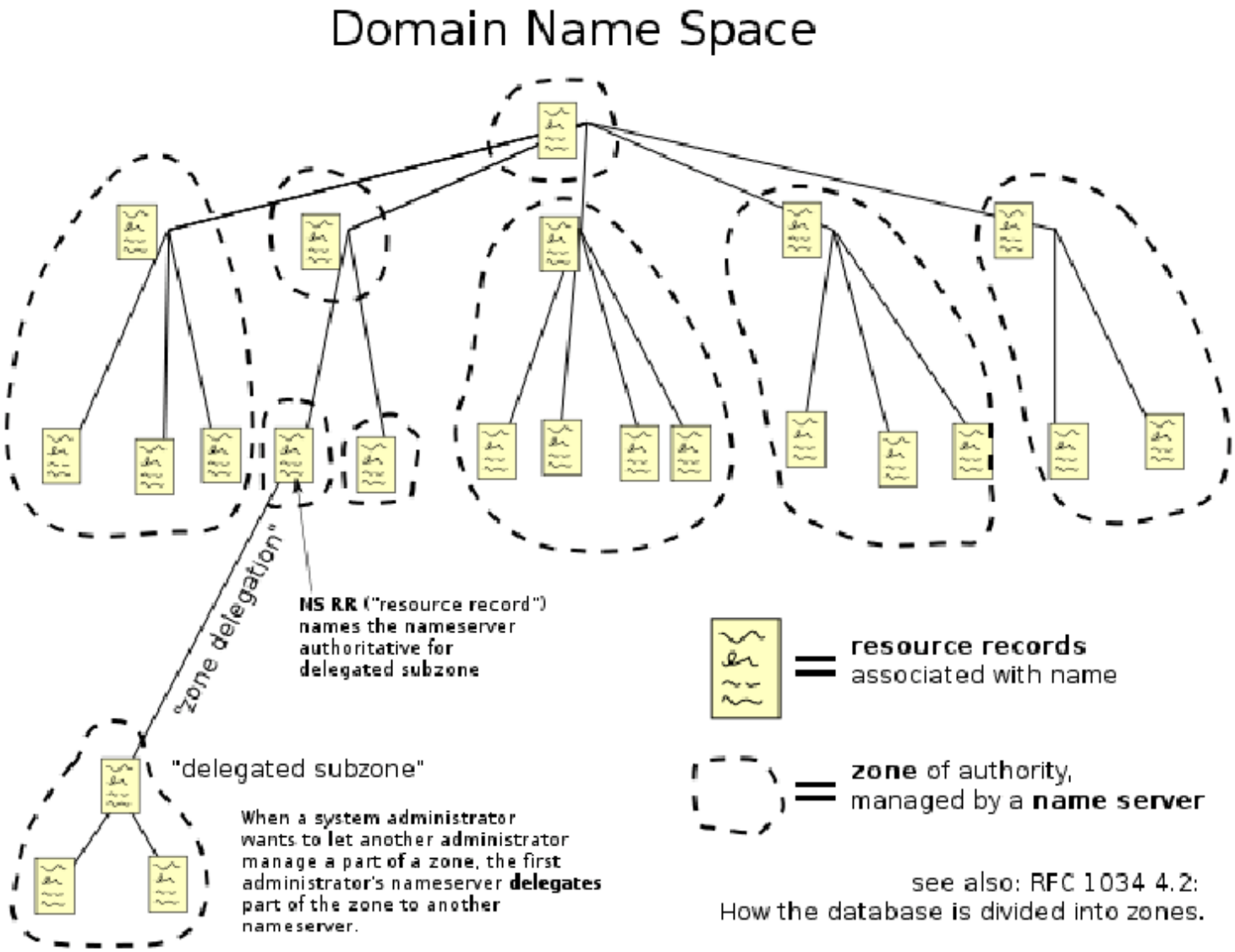
- Aucune entité ne gère tous les labels de l'arbre
- Les TLDs sont gérés par le NIC qui délègue à divers organismes
- Les extensions de pays sont gérés par les NICs régionaux (AFNIC)

La notion de zone DNS

Zone DNS Portion de l'arbre DNS administrée de manière autonome

- Une fois que l'autorité est déléguée pour une zone, c'est à la personne qui en est responsable de fournir des serveurs de noms pour cette zone
- Plusieurs serveurs sont en général requis pour une question de redondance

La notion de zone DNS (suite)



Redondance des serveurs DNS

Réels avantages ? Beaucoup d'entreprises proposent des services de type "DNS secondaire"

- D'après certaines études, 25% des zones DNS ont leurs serveurs situés sur le même réseau
- Difficulté de propagation pour les changements urgents (effets de cache, etc.)
- Sécurité

Aspects administratifs

Pour un nom de domaine, le propriétaire doit payer un abonnement auprès des entités gérant les serveurs ayant autorité sur les TLDs

- Notion de "*registrars*"
- Modalité de dépot pour un nom de domaine : premier arrivé premier servi

Différents types de contact

Administratif	pour les modifications dans le `whois`
Technique	pour l'aspect opérationnel
Facturation	pour l'aspect financier

Les serveurs racines

Root Nameservers

- Les serveurs DNS racines connaissent (i.e. ”publient”) la liste des serveurs ayant autorité sur les TLDs
- Il existe 13 serveurs racines sur internet associés aux noms de la forme `{A..M}.root-servers.net`

Remarques

- La plupart des adresses IP sont distribuées par *anycast*
- Des études montrent que 98% des requêtes traitées par les serveurs racines sont inutiles (bruit, erreurs de configuration, etc.)

Les serveurs racines alternatifs

On peut utiliser un espace de nommage DNS alternatif en changeant les *root nameservers*.

- OpenNIC, Public-Root, etc.

Les raisons peuvent être idéologiques ou commerciales.

RFC-2826 (*Internet Architecture Board - Technical Comment on the Unique DNS Root*)

"To remain a global network, the Internet requires the existence of a globally unique public name space"

Localisations des serveurs DNS racines

Février 2007

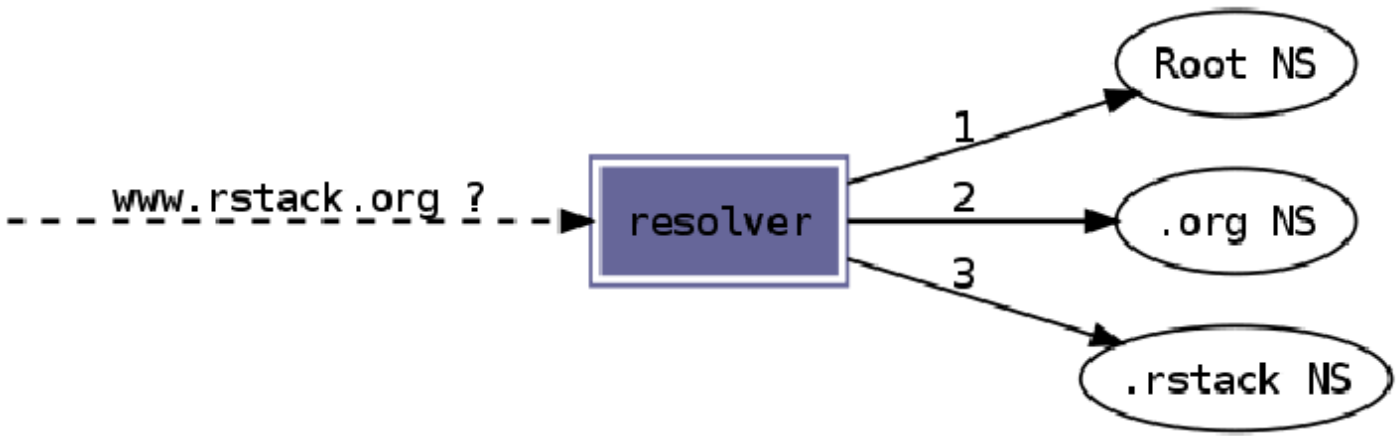
Mécanisme de résolution DNS

- Le resolver traite **itérativement** chaque composant du nom de domaine en commençant par la droite (racine, puis TLD, etc.)
  - Pour démarrer la recherche, on doit donc connaître les adresses IP des serveurs racines (configuration statique)
- A chaque étape, le resolver effectue une requête pour connaître le serveur autoritaire de la zone DNS définie par l'élément inférieur
  - Au début de la recherche, le resolver demande aux serveurs racines quels sont les serveurs autoritaires pour le TLD

Mécanisme de résolution DNS (suite)

Exemple

Résolution du nom "`www.rstack.org`"?



Différents types de serveurs DNS

Le DNS est basé sur un ensemble de serveurs organisés de façon hiérarchique et que l'on peut grouper en trois catégories :

- Serveurs primaires (ou maîtres)
- Serveurs secondaires (ou esclaves)
- Serveurs caches (ou forwarders)

Serveurs primaires et secondaires

Les serveurs primaires et secondaires ont pour rôle de publier des informations pour la zone DNS pour laquelle ils sont autoritaires.

- Un serveur primaire charge ses informations sur la zone à partir d'une base de données locale (fichier sur le disque ou autre)
- Un serveur secondaire obtient les informations à partir du serveur primaire grâce à un mécanisme réseau appelé "transfert de zone"

$\rightarrow$ Un serveur DNS (primaire ou secondaire) n'a pas à fournir d'informations **autres** que celles pour lesquelles il est autoritaire

Serveur de cache DNS

Un serveur de cache DNS (ou *forwarder DNS*) doit :

1. prendre en charge les requêtes des clients
2. effectuer tout le mécanisme de résolution à leur place (i.e. les itérations successives en partant des serveurs racines)
3. stocker les résultats dans une mémoire cache

Remarques

- Utilisation de chaînes de *forwarders*
- Serveur ”privé”

Notion de ”Resource Records” (RR)

Chaque noeud de l'arbre DNS contient un ensemble (éventuellement vide) d'enregistrements. Chaque enregistrement contient :

- Un champ ”`type`” codé sur deux octets spécifiant le type des données de l'enregistrement : `A`, `PTR`, `CNAME`, `MX`, etc.
- Un champ ”`class`” codé sur deux octets identifiant le protocole relatif aux informations de l'enregistrement.
  $\rightarrow$ La classe `IN` est réservée aux adresses Internet.
- Un champ `TTL` codé sur 32 bits représentant une durée de validité en secondes
- Et enfin les données (`RDATA`)

Requêtes et réponses DNS

Les messages DNS (**requêtes** et **réponses**) sont constitués :

- d'un entête composé de différents champs de taille fixe
- d'une zone de données divisée quatre sections :
  - Requête (*Question*)
  - Réponse (*Answer*)
  - Authorité (*Authority*)
  - Données additionnelles (*Additional*)

Les ressources de type A, AAAA et PTR

Ces types d'enregistrements sont utilisés pour la conversion des adresses IP en nom et inversement

- **A, AAAA** Le champ RDATA contient une adresse IPv4 (32 bits) ou IPv6 (128 bits)
- **PTR** Le champ RDATA est un pointeur vers une autre branche de l'espace de nommage DNS

Définition d'alias au sens DNS

CNAME (*Canonical Name*)

indique que l'enregistrement courant est un alias et fournit le nom DNS officiel auquel il fait référence dans le champ RDATA

Remarques

Les enregistrements de type CNAME sont souvent source d'erreurs et de confusion. Les spécifications préconisent différentes choses :

- Si un noeud de l'arbre DNS contient un RR de type CNAME, alors il ne doit pas contenir d'autres données
- Les CNAME ne doivent pas être chaînés

Principaux types de ressources

Quelques exemples à l'aide du programme `host`

- Enregistrements associés à `www.google.com` ?

```
bash$ host -t any www.google.com

www.google.com.         325863  IN      CNAME   www.l.google.com.
```

- Enregistrements de type A de `www.l.google.com` ?

```
bash$ host -t a -v google.l.com

www.l.google.com.       143     IN      A       209.85.129.99
www.l.google.com.       143     IN      A       209.85.129.104
www.l.google.com.       143     IN      A       209.85.129.147
```

Principaux types de ressources

Informations sur la zone DNS

SOA (*Start Of Authority*)
ce type de ressource fournit diverses informations sur la zone DNS à laquelle appartient l'enregistrement courant

Un enregistrement SOA contient :

- Le serveur DNS ayant autorité sur cette zone (`MNAME`)
- L'adresse mail du responsable de la zone (`RNAME`)
- Un numéro de série codé sur 32 bits (`SERIAL`)
- Diverses valeurs temporelles codées sur 32 bits utilisées par les mécanismes de cache
  - `REFRESH`, `RETRY`, `EXPIRE`, `MINIMUM`

Principaux types de ressources

- Informations de la zone `google.com` ?

```
bash$ host -t soa google.com

google.com. 86202 IN SOA (
                          ns1.google.com.        # MNAME
                          dns-admin.google.com. # RNAME
                          2007122501             # SERIAL
                          7200                   # REFRESH
                          1800                   # RETRY
                          1209600                # EXPIRE
                          300                    # MINIMUM
                        )
```

Le type de ressource NS

NS définition du serveur de nom autoritaire pour (i.e. *"à partir de"*) cet enregistrement

Le données pour les ressources de ce type représentent un nom DNS, par exemple :

```
bash$ host -t ns -v orange.fr

;; ANSWER SECTION:
orange.fr.              2639    IN      NS      ns.wanadoo.fr.
orange.fr.              2639    IN      NS      ns2.wanadoo.fr.
```

Délégation et enregistrements NS

Pour déléguer une sous-zone à une autre entité, on doit avoir un enregistrement de type `NS` indiquant les serveurs `DNS` qui ont autorité sur cette sous-zone.

Le serveur `DNS` peut être référencé :

- par un nom appartenant à la sous-zone pour laquelle il est autoritaire (méthode conseillée)
  $\rightarrow$ utilisation de *glue records*
- par un nom quelconque
  $\rightarrow$ attention aux boucles et aux performances

Les ressources de type SRV (1/2)

Principe

L'idée est de s'appuyer sur l'infrastructure du DNS (répandue et supportée par tous les clients) pour localiser les services sur un réseau (cf. RFC 2782).

Localisation des services

La RFC spécifie d'abord une convention permettant d'interroger le DNS afin de localiser un service : `_service._proto.target`

Par exemple, pour trouver le serveur LDAP un client demandera à son serveur DNS les enregistrements de type SRV pour le nom de domaine :
`_ldap._tcp.mon-domaine.com`

Les ressources de type SRV (2/2)

Informations de l'enregistrement SRV

En plus des champs habituels (`TTL`, `CLASS`), on trouve les informations suivantes :

Priorité entier codé sur 16 bits indiquant l'ordre de préférence si plusieurs enregistrements sont retournés

Poids entier codé sur 16 bits affinant le choix du serveur en cas de multiples priorités de même valeur

Port port réseau sur lequel écoute le service

Target nom `DNS` du serveur fournissant le service

Autres types de ressource : MX et TXT

MX fournit le nom de la machine responsable du routage des mails pour ce domaine (*Mail eXchanger*)

TXT définition d'un champ arbitraire de type texte

Mécanisme de résolution inverse (1/2)

L'objectif est de retrouver le nom à partir de l'adresse `IP`

- Utilisation des mécanismes du `DNS` avec un `TLD` spécifique "`in-addr.arpa`"
- L'adresse IP est utilisée comme un nom de domaine (séquence de labels séparées par des « `.` »

Une entité qui rejoint internet (i.e. qui dispose de quelques adresses IP publiques) obtient l'autorité pour une partie de l'espace d'adressage du DNS mais aussi pour une portion de `in-addr.arpa`.

- L'affectation des plages d'adresses IP se fait de manière hiérarchique (cf. CIDR)
- L'adresse est donc inversée avant d'être concaténée au domaine `in-addr.arpa`

Mécanisme de résolution inverse (2/2)

- Le type de ressource utilisé pour les requêtes est ”PTR”

Exemple

Pour connaître le nom de la machine ayant l'adresse IP `193.252.19.3`, le resolver demande l'enregistrement PTR pour le nom de domaine `3.19.252.193.in-addr.arpa`

Remarque

Plusieurs enregistrements peuvent être retournés mais seul le premier est utilisé

Problèmes divers de pollution

- Résolution inverse des adresses privées (`RFC-1918`)
- Qualification des noms de domaines (directives `domain` et `search` pour le resolver)
- Auto-complétion des browsers web
- Enregistrement `SOA` inexistants
- Interceptions des `NXDOMAIN`

Equilibrage de charge et DNS

Grâce au DNS, on peut mettre en oeuvre un système d'équilibrage de charge entre plusieurs machines appelé "DNS *round-robin*"

Principe

Une feuille de l'arbre DNS peut contenir plusieurs enregistrements du même type (par exemple trois RR de type A avec des adresses IP différentes)

- La réponse du serveur intègre tous les enregistrements dans un ordre aléatoire ou judicieusement choisi (par exemple en fonction de la géolocalisation du client)
- Les clients utilisent généralement la première valeur

$\rightarrow$ Les valeurs de TTL doivent être faibles pour diminuer la durée de vie dans les caches intermédiaires

Aspects réseaux du DNS

Les échanges DNS sont principalement basés sur UDP avec le port 53/domain coté serveur.

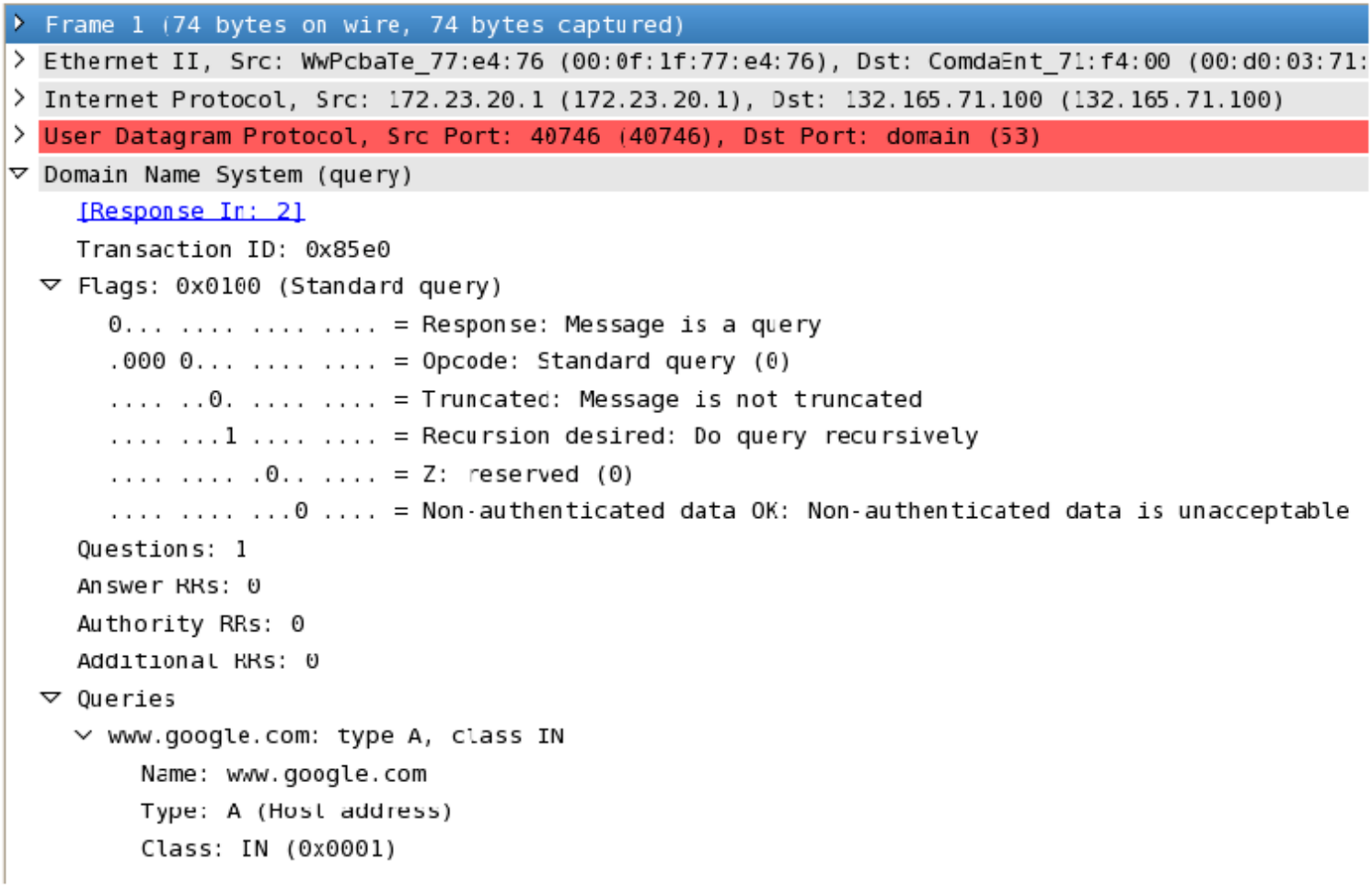
- Les messages sont limités à 512 octets par la RFC 1035
- Les resolvers doivent mettre en oeuvre des stratégies de retransmission adaptées

Utilisation de TCP

Si la réponse du serveur est trop grande, alors le message est tronqué et le bit TC est positionné dans l'entête.

- Le client doit alors ré-emettre sa requête en TCP
- Blocage des flux TCP liés au DNS

Analyse d'une requête DNS



Analyse d'une réponse DNS

```
> User Datagram Protocol, Src Port: domain (53), Dst Port: 40746 (40746)
v Domain Name System (response)
    [Request In: 1]
    [Time: 0.091463000 seconds]
    Transaction ID: 0x85e0
  v Flags: 0x8180 (Standard query response, No error)
      1... .... .... .... = Response: Message is a response
      .000 0... .... .... = Opcode: Standard query (0)
      .... .0.. .... .... = Authoritative: Server is not an authority for domain
      .... ..0. .... .... = Truncated: Message is not truncated
      .... ...1 .... .... = Recursion desired: Do query recursively
      .... .... 1... .... = Recursion available: Server can do recursive queries
      .... .... .0.. .... = Z: reserved (0)
      .... .... ..0. .... = Answer authenticated: Answer/authority portion was not authenticated by the server
      .... .... .... 0000 = Reply code: No error (0)
    Questions: 1
    Answer RRs: 5
    Authority RRs: 0
    Additional RRs: 0
  v Queries
    v www.google.com: type A, class IN
        Name: www.google.com
        Type: A (Host address)
        Class: IN (0x0001)
  v Answers
    > www.google.com: type CNAME, class IN, cname www.l.google.com
    > www.l.google.com: type A, class IN, addr 74.125.43.99
    > www.l.google.com: type A, class IN, addr 74.125.43.103
```

Le transfert de zone (1/2)

Définition

C'est le mécanisme par lequel un serveur secondaire (ou esclave) récupère les informations sur la zone en interrogeant le serveur primaire (ou maître).

Principe

- Le transfert est initié en `TCP` **par le serveur esclave** en se connectant sur le port `53/domain` du serveur maître
- Le serveur esclave vérifie si une nouvelle version de la zone est disponible à l'expiration de la durée de validité (`SOA`)

Le transfert de zone (2/2)

Remarques

- Pas de prise en compte automatique des nouvelles zones
- Pas de chiffrement ni de contrôle d'intégrité
- A cause du délai de propagation des informations induit par le sens du transfert (secondaire $\rightarrow$ primaire), un mécanisme de notification est mis en oeuvre (`NOTIFY`)
  $\rightarrow$ mécanisme non fiable car basé sur `UDP/53`
- Transfert incrémental (`IXFR`)
  $\rightarrow$ certaines informations ne sont pas propagées
- Filtrage réseau compliqué à mettre en place

La sécurité du DNS

Pour une entreprise (ainsi que pour Internet), l'infrastructure DNS est un composant critique.

- Importance du cloisonnement réseau
- Choix des implémentations

Configuration *"Primary Master Hidden" (1/2)*

D'un point de vue sécurité, un serveur DNS maître est une machine **très sensible** dans le sens où elle est responsable des informations publiées dans le DNS.

- Le chargement des données depuis une base locale (système de fichiers ou autre) implique des besoins spécifiques : filtrage réseau, administration et gestion des zones DNS par une personne spécifique, etc.
- Par ailleurs, le service doit être généralement accessible depuis un grand nombre d'utilisateurs (voire depuis Internet).

$\Rightarrow$ Ces besoins ne sont pas vraiments compatibles

Configuration ”Primary Master Hidden” (2/2)

Une solution consiste à mettre en place un serveur secondaire en frontal (offrant le service à l’extérieur), et à cacher l’existence du serveur primaire (pouvant être situé plus à l’intérieur du réseau)

Mise en oeuvre

1. Paramétrer (et sécuriser) un serveur secondaire en frontal
2. Déclarer un seul champ `NS` dans la zone DNS publiée
3. Mettre en place le transfert de zone entre les deux machines

DNS Cache Poisoning

Attaque consistant à renvoyer des informations erronées à un serveur de cache de manière à ce que ces dernières soient enregistrées dans la mémoire cache.

Techniques possibles (historiques)

- Utilisation de la section "*additional data*" pour forcer la mise à jour d'informations tierces
- Injection de fausses réponses (*DNS forgery*) en essayant de deviner l'id de transaction (`TXID`)

Les implémentations actuelles des serveurs `DNS` ne sont plus vulnérables à ces deux attaques

$\rightarrow$ Attention aux attaques locales contre le resolver/cache

L'attaque de D. Kaminsky (1/2)

Le DNS est un protocole sans état : pour un serveur cache, la correspondance entre les **requêtes envoyées** et les **réponses reçues** est basée sur le couple (`port source, TXID`)

Problème du port source

En août 2008, quasiment toutes les implémentations des caches DNS utilisent un port source **fixe** pour l'envoi de requêtes

$\rightarrow$ Problème pointé par D.J. Bernstein en 1998

Le port source étant connu, forger une réponse valide revient à deviner l'id de transaction (codé sur 16 bits).

$\rightarrow$ Paradoxe des anniversaires

L'attaque de D. Kaminsky (2/2)

Description de l'attaque

Pour insérer de fausses informations dans un serveur DNS cache pour le nom `www.domaine.com`, l'attaquant va simultanément :

- Envoyer au serveur cache vulnérable des milliers de requêtes concernant des enregistrements inexistants ($\rightarrow$ `NXDOMAIN`)
  - `aaaaa.domaine.com, aaaab.domaine.com, ...`
- Parallèlement, forger les milliers de réponses correspondantes en faisant varier le `TXID` et contenant une section *additional data* contenant les données à altérer

$\rightarrow$ Une correspondance se produit rapidement (après quelques milliers de requêtes)

DNS Cache Snooping (1/2)

Définition

Ce sont les techniques d'attaque permettant de déterminer si une information est **déjà présente** dans un serveur DNS de cache

$\rightarrow$ fuite d'informations

Méthodes

- Interroger le cache du serveur DNS en forçant le mode **non-récursif**
- Etudier les valeurs obtenues pour le TTL de l'enregistrement ou bien les temps de réponse du serveur

DNS Cache Snooping (2/2)

La meilleure protection contre les attaques de ce type consiste à **séparer les services DNS** en fonction du type des clients qui les utilisent

- Les serveurs DNS primaires ou secondaires sont généralement des services **publics**
- Les serveurs de cache sont plutôt destinés à une population d'utilisateurs spécifiques (utilisateurs d'un LAN, abonnés d'un ISP, etc.)

Menaces différentes $\Rightarrow$ Mesures de protection adaptées

Par exemple, pour un serveur de cache on peut interdire les requêtes non-récursives et fixer le TTL à 0

Remarque sur la séparation des services

Séparer les services de **résolution** (serveur cache) et de **publication** (serveur primaire/secondaire) revient simplement à mettre en oeuvre les grands principes de sécurité :

- **Séparation des privilèges**
  $\rightarrow$ réduction de la surface d'attaque et des impacts liés à une faille de sécurité
- **Moindre privilège**
  $\rightarrow$ implémentation plus simple et plus sûre

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives DAM/DSSI
Centre de Bruyères-le-Châtel | 91297 Arpajon Cedex
T. +33 (0)1 69 26 40 00 | F. +33 (0)1 69 26 40 00
Établissement public à caractère industriel et commercial
RCS Paris B 775 685 019