

---

---

## IPv6 et vous

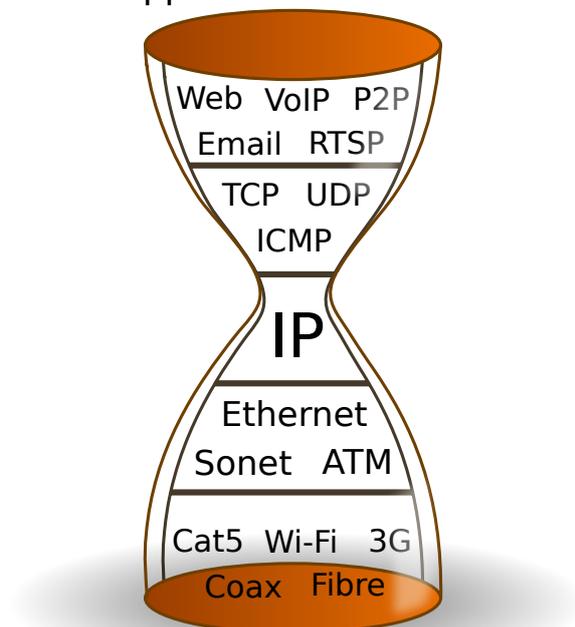
1. Bonjour
2. Exposé mêlant technique et stratégie (la stratégie, c'est ce qu'on fait quand on ne comprend pas la technique)
3. L'auteur : Stéphane Bortzmeyer  
stephane+ipv6@bortzmeyer.org, a envoyé son premier paquet IPv6 en 1998

---

---

## Qu'est-ce que c'est qu'IPv6

Petit rappel sur le modèle en couches



*applications over IP*

*IP over everything, all*

---

---

## Autres points importants de l'Internet

- ▶ Alice peut parler à Bob directement,
- ▶ Les intermédiaires (GAFA. . .) ne sont **pas** nécessaires,
- ▶ Cela nécessite qu'Alice puisse **désigner** (nommer) la machine de Bob : l'adresse IP (198.51.100.72)
- ▶ Pouvoir être joint n'est pas que pour héberger un serveur à la maison : pair-à-pair, voix sur IP. . .
- ▶ Et tout le monde utilise le même protocole, de Google à vous.

---

---

## Qu'est-ce qu'IPv4 ?

1. Version actuelle du protocole IP,
2. Les adresses IP sont à la fois des **identificateurs** et des **localisateurs**,
3. Les adresses IP sont sur 32 bits (et, hélas, 1 000 fois hélas, les applications le savent et le manipulent).

---

## L'en-tête IPv4

```
Internet Protocol Version 4, Src: 204.62.14.153 (204.62.14.153), Dst: 106.186.29.14
  Version: 4
  Header Length: 20 bytes
  Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT)
    0000 00.. = Differentiated Services Codepoint: Default (0x00)
    .... ..00 = Explicit Congestion Notification: Not-ECT (Not ECN-Capable)
  Total Length: 60
  Identification: 0x8586 (34182)
  Flags: 0x02 (Don't Fragment)
    0... .... = Reserved bit: Not set
    .1.. .... = Don't fragment: Set
    ..0. .... = More fragments: Not set
  Fragment offset: 0
  Time to live: 64
  Protocol: TCP (6)
  Header checksum: 0x5296 [validation disabled]
  Source: 204.62.14.153 (204.62.14.153)
  Destination: 106.186.29.14 (106.186.29.14)
```

---

## Qu'est-ce qui coince dans IPv4

- ▶ Espace d'adressage trop petit (de un ordinateur par entreprise à un par personne, puis désormais à plusieurs par personne),
- ▶ Et pas mal de petits détails (difficulté à analyser les options IP).

---

---

## Au passage

Une notion importante est celle de **préfixe** d'adresses IP.

- ▶ Bien des services ne traitent pas les adresses IP individuellement mais par un préfixe
- ▶ On note la longueur du préfixe après le préfixe.
- ▶ Exemple : 198.18.0.0/26 a une longueur de 26 bits. Restent 6 bits pour spécifier.
- ▶ Les préfixes servent pour le routage, l'allocation d'adresses, les ACL...

---

---

## Épuisement IPv4

1. L'IANA a distribué les derniers /8 le 3 février 2011,
2. Le RIPE-NCC est passé en mode « dernier /8 » le 14 septembre 2012,
3. Le seul RIR qui n'est pas passé en mode pénurie est Afrinic.

---

---

## Le changement de modèle

Aujourd'hui, la taille du sablier est plus haute. Ce n'est plus IP qui unifie tout.

On peut dire qu'on a un sablier déformé, où le point le plus étroit, l'unificateur, est HTTP.

---

---

## Le changement de modèle, suite

- ▶ De plus en plus difficile d'avoir un accès Internet (capacité d'être appelé) : NAT et, pire, CGN, *middleboxes*. . .
- ▶ Cela fait la joie des organisations du passé (État, CSA, ayant-trop-de-droits. . .) qui veulent qu'on passe obligatoirement par de grosses plate-formes.

---

---

## Histoire d'IPv6

1. 1994 Groupe de travail IETF ipng *IP Next Generation*
2. 1995, RFC 1752, qui recommande SIPP, le futur IPv6
3. 1995, RFC 1883, première norme IPv6
4. 2013, optimiste, l'IETF crée un groupe de travail sunset4, chargé de la disparition d'IPv4. . .

---

---

## Ma seule contribution

<http://marc.info/?l=ipng&m=98731901415295&w=1> sur les problèmes de MTU minimum

The values are:

MTU:	Number of hosts	Comments
1500:	2229	Maximum available for that survey
1006:	64	Typical SLIP line
576:	16	X25 or LocalTalk
1478:	11	
1010:	7	
572:	5	
512:	5	Netbios is the only possibility listed in RFC 1191
1492:	5	IEEE 802.3
296:	5	Recommended value in RFC 1191 for slow lines
68:	3	Lowest possible value. Who uses it???

---

---

## IPv6 en un slide

- ▶ Adresses sur 128 bits,
- ▶ Format d'en-têtes complètement différent, avec moins de champs (pas très utile à savoir, sauf si vous programmez un routeur ou un noyau),
- ▶ Et c'est quasiment tout. Aucune raison d'en faire tout un fromage pour retarder la transition.

---

---

## Le nouvel en-tête

```
Internet Protocol Version 6, Src: 2605:4500:2:245b::bad:dcaf (2605:4500:2:245b::bad:dcaf)
Destination: 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3 (2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3)
  0110 .... = Version: 6
  .... 0000 0000 .... .. = Traffic class: 0x00000000
  .... 0000 00.. .... .. = Differentiated Services Field (DSField)
  .... ..0. .... .. = ECN-Capable Transport (ECT)
  .... ..0. .... .. = ECN-CE: Not set
  .... .. 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
Payload length: 40
Next header: TCP (6)
Hop limit: 64
Source: 2605:4500:2:245b::bad:dcaf (2605:4500:2:245b::bad:dcaf)
Destination: 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3 (2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3)
```

---

---

## Autres détails

- ▶ Adresses « locales au lien » (fe80::30a4:e1ff:fa71:37a3),
- ▶ Autoconfiguration sans état (préfixe du réseau + valeur aléatoire).
- ▶ Des changements de noms, pour des protocoles qui restent très proches (ARP devient NDP)

---

---

## Points communs entre IPv4 et IPv6

- ▶ IPv6 est IP : les principes de base sont les mêmes,
- ▶ Par exemple, l'adresse reste double, identificateur et localisateur,
- ▶ Options pénibles à analyser  
<http://www.bortzmeyer.org/analyse-pcap-ipv6.html>,
- ▶ Le routage est le même, etc.

Les deux protocoles ont plus de points communs que de différences.

---

---

## Différences entre IPv4 et IPv6

- ▶ La taille a des conséquences : par exemple, tester toutes les adresses IPv4 de l'Internet est aujourd'hui trivial, le faire même sur un réseau local en IPv6 est difficile.
- ▶ Certaines techniques naïves ne marchent plus : exemple d'un IPAM (gestion d'adresses allouées) qui créait une entrée par adresse IP dans sa base de données. Avec un préfixe IPv6, ça coince.

---

---

## Démos

```
% ping6 -c 2 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3
PING 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3(2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3) 56 data
64 bytes from 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3: icmp_seq=1 ttl=50 time=177 ms
64 bytes from 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3: icmp_seq=2 ttl=50 time=177 ms

--- 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 received, 0% packet loss, time 1001ms
rtt min/avg/max/mdev = 177.252/177.540/177.829/0.510 ms
```

---

## Démos, suite

```
% traceroute6 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3
traceroute to 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3 (2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3)
 1 2605:4500:2::2 (2605:4500:2::2) 0.689 ms 0.373 ms 0.340 ms
 2 ge-7-19.car2.Newark1.Level3.net (2001:1900:2100::1861) 1.145 ms 1.061 ms 1.061 ms
 3 vl-4080.car1.Newark1.Level3.net (2001:1900:4:1::c1) 62.986 ms 108.244 ms 108.244 ms
 4 2001:1900:4:1::ce (2001:1900:4:1::ce) 1.425 ms 1.528 ms 1.532 ms
 5 vl-4080.car1.NewYork1.Level3.net (2001:1900:4:1::e1) 20.961 ms 1.541 ms 1.541 ms
 6 vl-4040.edge1.SanJose1.Level3.net (2001:1900:4:1::5d) 70.061 ms 70.171 ms 70.171 ms
 7 vl-80.edge1.SanJose2.Level3.net (2001:1900:1a:7::13) 71.934 ms 71.903 ms 71.903 ms
 8 KDDI-AMERIC.edge1.SanJose2.Level3.net (2001:1900:2100::2d2) 96.569 ms 96.569 ms 96.569 ms
 9 2001:268:fb81:34::1 (2001:268:fb81:34::1) 76.435 ms 76.569 ms 149.368 ms
10 6otejbb206.int-gw.kddi.ne.jp (2001:268:fb02:163::1) 168.468 ms 168.399 ms 168.399 ms
11 6cm-fcu203.int-gw.kddi.ne.jp (2001:268:fb13:1::3) 184.429 ms 177.858 ms 177.858 ms
12 2001:268:f702:6c::2 (2001:268:f702:6c::2) 178.637 ms 178.413 ms 178.532 ms
13 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3 (2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3) 176.065 ms 176.065 ms 176.065 ms
```

---

## Démos, suite de la suite

```
17:04:40.986991 IP6 2605:4500:2:245b::bad:dcaf.47969 > \
    2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3.https: \
    Flags [S], seq 2640915157, win 28800, options [mss 1440,sackOK,TS val 1146137616 ecr 1]
17:04:41.170705 IP6 2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3.https > \
    2605:4500:2:245b::bad:dcaf.47969: \
    Flags [S.], seq 438365710, ack 2640915158, win 28560, options [mss 1440,sackOK,TS val 1146137616 ecr 1]
17:04:41.170773 IP6 2605:4500:2:245b::bad:dcaf.47969 > \
    2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3.https: \
    Flags [.], ack 1, win 450, options [nop,nop,TS val 1146137616 ecr 1]
17:04:41.171956 IP6 2605:4500:2:245b::bad:dcaf.47969 > \
    2400:8900::f03c:91ff:fe69:60d3.https: \
    Flags [P.], seq 1:33, ack 1, win 450, options [nop,nop,TS val 1146137616 ecr 1]
```

---

## Démos, fin

```
% ip addr show eth0
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP
    link/ether 52:54:00:d9:83:b3 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 204.62.14.153/24 brd 204.62.14.255 scope global eth0
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 2605:4500:2:245b::bad:dcaf/64 scope global
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 2605:4500:2:245b::42/64 scope global
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 fe80::5054:ff:fed9:83b3/64 scope link
        valid_lft forever preferred_lft forever
```

---

## Pourquoi IPv6 est important

- ▶ Parce qu'il rétablit « le modèle de bout en bout » ? Vrai mais un peu abstrait.
- ▶ Parce qu'il résout le problème de la pénurie d'adresses ? Vrai, mais d'autres techniques le font (CGN...)
- ▶ IPv6 est important car :
  1. Il simplifie beaucoup l'Internet en revenant à un modèle simple (débugage plus facile, écriture d'applications aussi)
  2. Il donne à tous le même accès, au contraire du modèle telco-minitélien où des terminaux passifs se connectent au « contenu ».

---

---

## Exposé aux RMLL à Montpellier de Julien Vaubourg

Voyez et revoyez la vidéo : excellent exposé sur IPv6, sous l'angle politique.

Les telcos trainent à déployer IPv6 car il permet tout ce qu'ils détestent (serveurs à la maison, pair à pair...)

<https://2014.rml1.info/conference56?lang=fr>

Autre bonne lecture en ligne : <http://roland.entierement.nu/blog/2007/12/23/ipv6-pourquoi.html>

---

---

## S'il ne faut qu'un seul argument en faveur d'IPv6

IPv6, c'est le vrai Internet

M. Michu peut émettre et recevoir sans intermédiaire.

---

---

## Transition

- ▶ Quizz : de quand date le dernier *flag day* de l'Internet, où tout a été changé d'un coup ?
- ▶ 1<sup>er</sup> janvier 1983, déploiement d'IPv4 (et séparation IP/TCP en prime).
- ▶ On ne peut plus changer tout l'Internet d'un coup : il faut une transition.
- ▶ Il faut pouvoir vivre dans un réseau mixte (IPv4 et IPv6).

---

---

## Les techniques de transition

Elles sont nombreuses, parce qu'elles traitent des cas différents  
<http://www.bortzmeyer.org/transition-ipv6-gilde.html>

- ▶ Connecter deux réseaux IPv6 au-dessus d'IPv4 : tunnels (de préférence manuels, je déconseille 6to4 et Teredo), ou bien 6rd
- ▶ Connecter un réseau purement IPv6 à des serveurs IPv4 : NAT64 (et DNS64)
- ▶ Connecter des réseaux IPv4 au dessus d'IPv6 : DS-Lite
- ▶ Techniques complexes et fragiles : le mieux reste la connexion native

---

## Sécurité

<http://www.bortzmeyer.org/ipv6-securite.html>

- ▶ Le plus gros mensonge des zélateurs d'IPv6 : meilleure sécurité car IPsec inclus (c'est faux).
- ▶ Du point de vue sécurité, IPv6 et IPv4 sont très proches : pas d'authentification de l'adresse source, pas de sécurité de la résolution IP→MAC, pas de chiffrement par défaut...
- ▶ La sécurité applicative est évidemment la même.
- ▶ Rappel : le NAT n'est pas une technique de sécurité.
- ▶ Certaines différences avec IPv4 ont des conséquences pour la sécurité

<http://www.bortzmeyer.org/hacking-ipv6.html>

---

## IPv6 et les applications

Et les programmeurs d'applications, que deviennent-ils ?

<http://www.bortzmeyer.org/>

[network-high-level-programming.html](http://www.bortzmeyer.org/network-high-level-programming.html)

- ▶ C'est certainement l'une des principales raisons du faible déploiement d'IPv6 : les applications manipulent des adresses IP et connaissent leur taille
- ▶ En C, ne mettez **pas** une adresse IP dans un `unsigned int`, utilisez les `struct sockaddr`. <http://www.bortzmeyer.org/ip-data-structures.html>. Ne mettez pas des `AF_INET` partout sans raison.
- ▶ Moins un problème dans les langages de haut niveau : `urllib.urlopen("http://rest.example.com/myapi/")` (Python) marche avec IPv4 et IPv6

---

---

## État actuel du déploiement d'IPv6

Il est difficile à mesurer car tout dépend de ce qu'on mesure

- ▶ Le pourcentage de paquets IPv6. Mais à quel endroit du réseau ? Chez Google ? Akamai ? Chez moi ? Sur un point d'échange ?
- ▶ Le pourcentage de sites Web qui ont une adresse IPv6 ? Par rapport au top N d'Alexa ? Dans un TLD donné ?
- ▶ Le pourcentage d'utilisateurs qui ont un accès IPv6 à la maison ?
- ▶ Le pourcentage d'applications/systèmes qui sont IPv6isés ?
- ▶ Le pourcentage de préfixes IPv6 dans les annonces BGP de la DFZ ?

---

---

## Statistiques du trafic Google

<http://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>

https:

[//www.ietf.org/proceedings/73/slides/v6ops-4.pdf](https://www.ietf.org/proceedings/73/slides/v6ops-4.pdf) 5,5 %  
d'IPv6 en France, 11 % aux États-Unis...

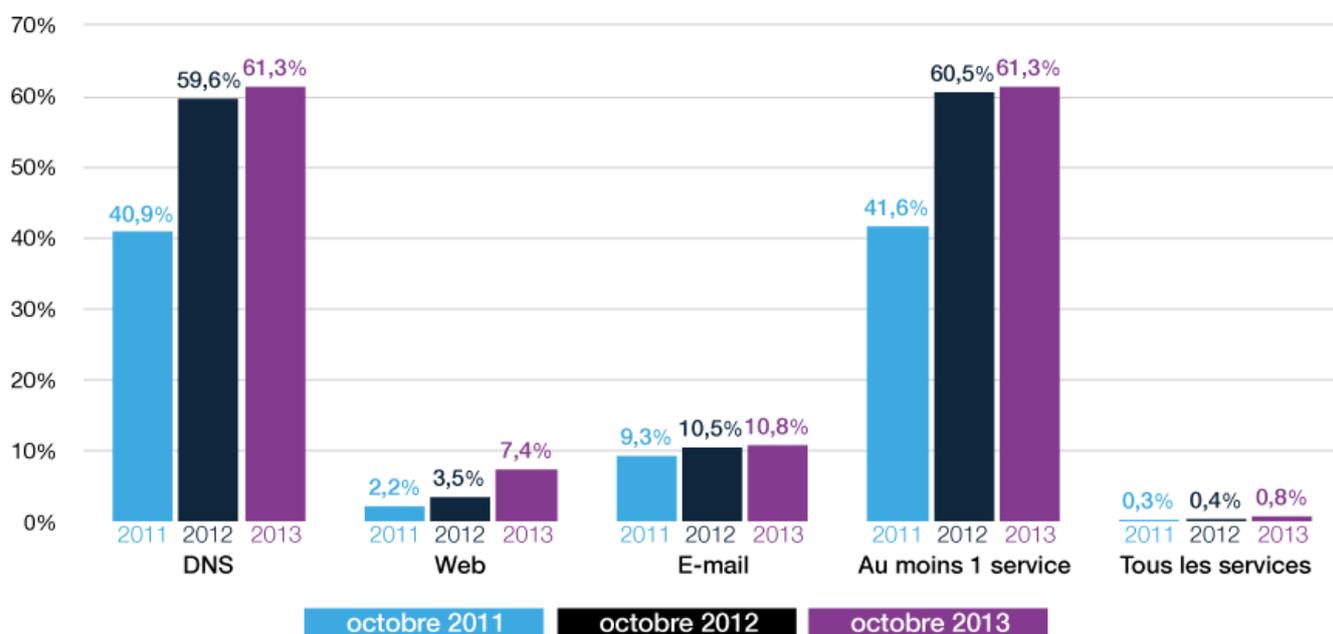
## Statistiques AFNIC dans .fr

<http://www.afnic.fr/fr/l-afnic-en-bref/actualites/actualites-generales/7428/show/>

2013-un-palier-pour-le-deploiement-d-ipv6-1.html « Le pourcentage de noms de domaine en .fr possédant au moins un serveur DNS adressé en IPv6 est passé de 40,9 % en 2011, à 59,6 % en 2012, pour atteindre 61,3 % en 2013. Les serveurs Web ont enregistré la meilleure progression (+ 3 points), mais ils demeurent néanmoins moins déployés (à 7,4 %) derrière les serveurs de messagerie (10,75 %). »

## Statistiques AFNIC dans .fr

Pourcentage de noms de domaine en .fr possédant au moins un serveur (DNS, web ou e-mail) dont l'adresse est en IPv6 (octobre 2011 - octobre 2013)



---

---

## Autres métriques

- ▶ Combien de FAI proposent IPv6 ? (En France, Renater, Nerim, Free, SFR - fibre seulement, fédération FDN, OVH. . . )
- ▶ Combien d'hébergeurs proposent IPv6 ? (En France, Gandi, OVH, Online mais évidemment pas le cloud souverain. . . )
- ▶ Combien de formations IP intègrent IPv6 (et pas juste comme un exposé d'une heure à la fin de l'année ?)

---

---

## Pourquoi pas plus de déploiement ?

- ▶ La raison principale est économique/business : celui qui déploie IPv6 assume tous les coûts alors que les coûts du non-déploiement (complexité des applications pour contourner le NAT, par exemple) sont partagés.
- ▶ C'est un problème très fréquent en écologie (pollution, par exemple) <http://www.bortzmeyer.org/ipv6-et-l-echec-du-marche.html>
- ▶ Cela pose une intéressante question de gouvernance : peut-on encore faire évoluer l'Internet ou bien est-il trop ossifié ?

---

---

## Conclusion

- ▶ Je ne vais pas me lancer dans des pronostics, je suis nul dans ce domaine.
- ▶ Je vais plutôt dire que le déploiement d'IPv6 est **important** et doit être encouragé. Le travail avant les pronostics !