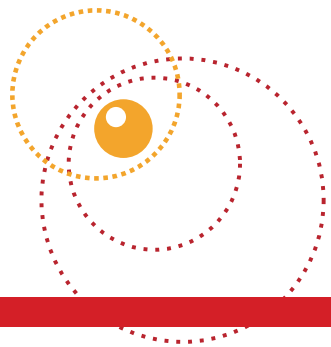




IPv6

Claude Chaudet
Claude.Chaudet@enst.fr
I 312





Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

En-tête

Auto-configuration

Transition

État des lieux



Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

En-tête

Auto-configuration

Transition

État des lieux





Rappels : Principes généraux d'IP

- Protocole de niveau 3 (réseau)
- Buts :
 - ⇒ Fournir un adressage permettant d'acheminer efficacement les paquets
 - ⇒ Séparation de l'espace d'adressage en plages
 - ⇒ Réduction de la taille des tables de routage
 - ⇒ Permettre l'interconnexion de réseaux
 - ⇒ IP over Everything (Ethernet, Wi-Fi, PPP, ...)
 - ⇒ Everything over IP (TCP, UDP, ...)

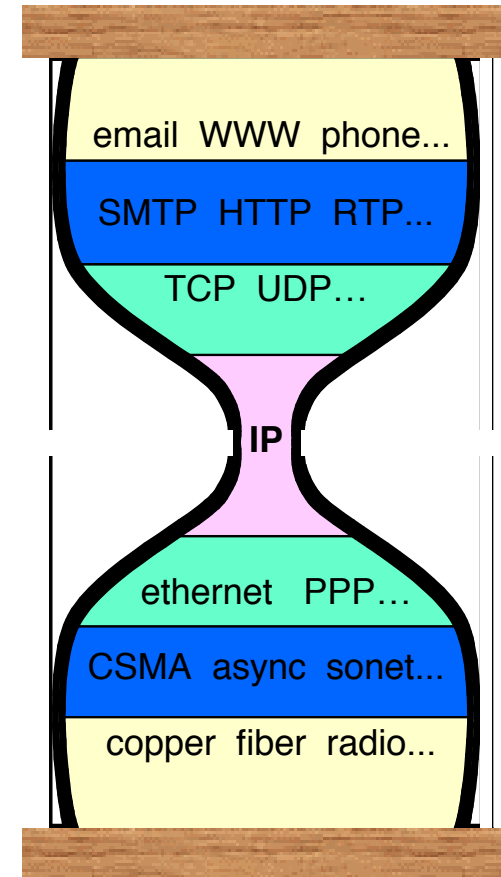


Schéma : Steve Deering,
Watching the Waist of the Protocol Hourglass,
IETF 51 London,

<http://www.ietf.org/proceedings/01aug/slides/plenary-1/index.html>



Rappels : IPv4

- Déployé le 1er janvier 1983
 - Adresses sur 4 octets
 - ⇒ RFC 791 (sept. 1981)
 - ⇒ 4 milliards d'adresses possibles
 - Gestion centralisé hiérarchique
 - ⇒ L'IANA alloue des plages d'adresses aux fournisseurs régionaux (RIR)
 - ⇒ <http://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space>
- ⇒ Les RIR allouent des plages d'adresses aux opérateurs télécom / entreprises
- ⇒ Europe : RIPE NCC





Adressage IP - classes d'adresses

Adresse réseau	ID hôte
----------------	---------

- Initialement, les plages d'adresses étaient allouées sur la base de *classes*

⇒ Classe A :

⇒ 00000001 → 01111110 ; 1.0.0.0 → 126.0.0.0

⇒ 126 réseaux de 16 777 214 ($\approx 2^{24}$) machines

⇒ Classe B :

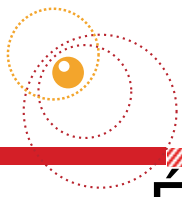
⇒ 10000000.00000000 → 10111111.11111111 ; 128.0.0.0 → 191.255.0.0

⇒ 16 384 réseaux de 65 534 ($\approx 2^{16}$) machines

⇒ Classe C :

⇒ 11000000.00000000 → 11011111.11111111 ;
192.0.0.0 → 223.255.255.0

⇒ 2 097 152 réseaux de 254 ($\approx 2^8$) machines



Adressage IP - classes d'adresses

- Épuisement rapide des plages d'adresses
 - ⇒ 1992 : apparition du Web
 - ⇒ Nécessite interconnexion de sites
 - ⇒ déclin d'IPX, de NetBIOS
 - ⇒ Épuisement rapide des classes B (1993)
- Utilisation fictive des classes A,B & C en France pour les entreprises au 1er janvier 2009 :
 - ⇒ 193 539 PME (de 10 à 199 salariés)
 - ⇒ environ 9 % des plages de classe C
 - ⇒ 7 355 entreprises de plus de 200 salariés
 - ⇒ environ 45% des plages de classe A et B
 - ⇒ La plupart de l'espace dans ces plages serait inutilisé

Source : http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATTEF09203





Mesures d'urgence

- Classless Inter Domain routing (CIDR — RFC 1519)
 - ⇒ Projet démarré en 1992 ; utilisé dès 1993
 - ⇒ Le but : plus de souplesse dans l'attribution des plages d'adresses (notation /23, /24, ...)
- Demande de la restitution de certains préfixes (RFC 1917)
- Apparition de solutions à base de NAT (RFC 1918)
 - ⇒ Plusieurs machines derrière une seule passerelle, adressage privé
- Allocation d'adresses dynamiques par les fournisseurs d'accès (DCHP)
- Permettent d'obtenir **un sursis** dans l'allocation des plages d'adresses
 - ⇒ Mai 2011 : 3 434 588 672 adresses allouées (80 % du total, y compris adresses multicast & privées)

source : <http://www.domaintools.com/internet-statistics/country-ip-counts.php>



IPv6 : un chantier de longue date

- Il faut tout de même réfléchir à une nouvelle façon d'adresser les hôtes
- Appel à propositions (RFC 1380 ; nov. 1992) - nouvelles politique d'adressage visant à
 - ⇒ Résoudre les problèmes d'adressage
 - ⇒ Réduire la taille des tables de routage
 - ⇒ Intégrer sécurité, QoS, Multicast, mobilité
 - ⇒ Compatibilité ascendante
- IPv6 : Standardisation prend du temps
 - ⇒ RFC principale (2460) date de décembre 1998
 - ⇒ En tout une trentaine de RFC publiées de 1995 à 1999
 - ⇒ Voir : <http://www.ipv6.org/specs.html>



Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

En-tête

Auto-configuration

Transition

État des lieux





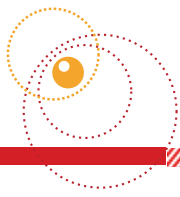
IPv6 : adressage [RFC 3513]

- Adresses codées sur 16 octets (128 bits)
 - ⇒ $3 \cdot 10^{38}$ adresses possibles
 - ⇒ $7 \cdot 10^{23}$ adresses par m² sur terre...
 - ⇒ Plus de 1000 adresses unicast par personne
- Hiérarchisation forte des domaines
 - ⇒ Tables de routage plus simples
 - ⇒ Routage plus efficace



Ecriture des adresses [RFC 3513]

- 16 octets, par groupe de 2, en hexadécimal
⇒ 8000:0000:0000:0000:0231:3245:AB6F:44FE
- Optimisations d'écriture
⇒ 8000::0231:3245:AB6F:44FE
⇒ 8000::231:3245:AB6F:44FE
- Préfixes et Identifiant d'Interface (IID) :
⇒ 8000:0000:0000:0000:: / 64
⇒ Préfixe sur 64 bits, IID sur 64 bits
- Adresses IPv4
⇒ ::FFFF:192.168.0.46



Format d'adresses [RFC 3513]

- Notation hiérarchique (CIDR), séparation en “champs”

2001:0660:330F:00A4:0230:65FF:FEBF:92A2

- ⇒ Type d'adresse (3 bits) : (001 pour unicast classique)
- ⇒ **TLA** (13 bits) : Top Level Agregator
- ⇒ **NLA** (32 bits) : Next Level Agregator
sous-autorité intermédiaire
(fournisseur d'accès)
- ⇒ **SLA** (16 bits) : Site Level Agregator
adresse du sous-réseau
(gestion du réseau local)
- ⇒ 2e partie (64 bits) : adresse de l'interface (dérivée de l'adresse MAC
par exemple)

ifconfig en0

en0: flags=8863<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500

inet6 2001:660:330f:a4:20d:93ff:fe61:dc5e prefixlen 64 scopeid 0x4

ether 00:0d:93:61:dc:5e



Adresses d'une interface [RFC 3513]

- Une adresse unicast **par interface réseau**
 - ⇒ Adresse publique
 - ⇒ 2000::/3
- Une adresse *Link-local Unicast* :
 - ⇒ Adresse obligatoire, unique sur le lien ; auto-générée ; non routable
 - ⇒ FE80::/64 (FE80:0:0:0:***:*)
- Une adresse *Unique Local Address* (ULA) [RFC 4193] :
 - ⇒ Adresse privée ; unique dans le sous-réseau
 - ⇒ FC00::/7 (FC***:***:***:*)
- Loopback
 - ⇒ ::1

```
ifconfig en0 inet6
```

```
en0: flags=8863<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
```

```
inet6 fe80::230:65ff:febf:92a2 prefixlen 64 scopeid 0x4
```

```
inet6 2001:660:330f:a4:230:65ff:febf:92a2 prefixlen 64 autoconf
```



Anycast (RFC 2526)

- Une adresse affectée à plusieurs éléments
 - ⇒ Tous les routeurs d'un domaine
 - ⇒ Tous les serveurs de fichiers en miroir
 - ⇒ DNS, SMTP, ...
- Un paquet envoyé à une telle adresse atteint une destination quelconque (la plus proche)
- Adresses réservées (selon RFC 2526) :
 - ⇒ 2001:660:330f:a4:FDFF:FFFF:FFFF:FFXX
 - ⇒ Préfixe du sous-réseau (64 bits)
 - ⇒ Préfixe anycast (FDFF:FFFF:FFFF:FF - 57 bits)
 - ⇒ Identifiant Anycast (7 bits)
- Officialisation de la RFC 1546 pour IPv4
- Pour l'instant limité au domaine *link-local*



Communications de 1 vers n

- Adresses multicast

⇒ FF00::/8 (FF*:*:*:*:*:*:*)

- FF02:32A3:330F:00A4:0230:65FF:FEBF:92A2

⇒ Préfixe multicast (8 bits) : (FF)

⇒ Drapeaux (4 bits) : Indicateurs divers

⇒ Portée (4 bits) : 1 : noeud 8 : organisation
2 : lien E : global
3 : sous-réseau
5 : site

ID Groupe (112 bits)

- Le multicast remplace le broadcast

⇒ FF02::1 tous les noeuds sur le lien
⇒ FF02::2 tous les routeurs sur le lien
⇒ FF05::2 tous les routeurs sur le site



Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

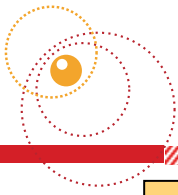
En-tête

Auto-configuration

Transition

État des lieux



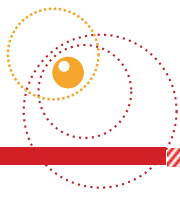


Différences en-têtes

V	L	TOS	Longueur totale	
Identification			F	Frag
TTL	Proto		Checksum	
Source address				
Destination address				
Options		Padding		

V	Class	Flow Label		
Longueur payload		Next H	Hop lim	
Source address				
Destination address				

- 7 champs au lieu de 13
 - ⇒ Simplification du routage
 - ⇒ Taille fixe
- Champs supprimés
 - ⇒ Checksum ; longueur en-tête ; fragmentation ; options



IPv6 : en-tête

- Version : 6
- Classe de trafic (QoS)
- Flow Label (QoS)
- Longueur de la charge utile (remplace longueur paquet)
- En-tête suivant (remplace protocole)
- Hop Limit (remplace TTL)
- Adresses source
- Adresse destination

V	Class	Flow Label	
Longueur payload		Next H	Hop lim
Source address			
Destination address			



Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

En-tête

Auto-configuration

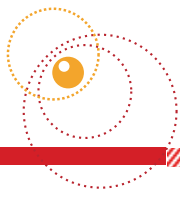
Transition

État des lieux



Neighbor discovery (RFC 2461)

- Buts du protocole :
 - ⇒ Résolution d'adresses (remplace ARP)
 - ⇒ Maintenir la table d'accessibilité des voisins (détection anticipée d'incaccessibilité)
 - ⇒ Auto-configuration (peut remplacer DHCP)
 - ⇒ Découverte des routeurs, du préfixe du réseau, des préfixes, détection d'adresses dupliquées
 - ⇒ Gestion des redirections
- Protocole nécessairement limité au lien
 - ⇒ Ne passe pas les routeurs
 - ⇒ Le champs *nombre de sauts* est positionné à 255 ; tout message avec une valeur inférieure est ignoré.
- Utilise des messages ICMPv6



Neighbor Discovery - Auto-configuration

- *Message #1 : Router advertisement (RA)*
 - ⇒ Annonce le préfixe du réseau, la MTU, la limite en nombre de sauts
 - ⇒ émis périodiquement par tout routeur, à destination de FF02::1 (toutes stations)
- *Message #2 : Router Solicitation (RS)*
 - ⇒ Demande explicite d'envoi de Router advertisement
 - ⇒ Émis depuis une station à destination de FF02::2 (tous les routeurs sur le lien)
- **Utilisation :**
 - ⇒ auto-configuration : une station peut déduire son adresse unicast à partir du préfixe du réseau, obtenu dans un RA, et de son adresse MAC
 - ⇒ Un champ de l'en-tête du RA peut indiquer qu'il est nécessaire de passer par un serveur DHCPv6 (mode avec état)
 - ⇒ DHCPv6 utilise une adresse multicast à la place du broadcast :
All_DHCP_Relay_Agents_and_Servers FF02::1:2



Neighbor Discovery - informations sur les voisins

- *Neighbor Solicitation* (NS)

- ⇒ Si émis à destination d'une adresse *broadcast*, détermination de l'adresse physique (requête ARP)
- ⇒ Duplicate Address Detection
- ⇒ Détection d'inaccessibilité (*ping*)

- *Neighbor Advertisement* (NA)

- ⇒ Cas général : émis en réponse à un NS
- ⇒ Parfois : signaler un changement d'adresse physique



Neighbor Discovery : Redirection

- *Redirect*

- ⇒ Émis par les routeurs par défaut le plus souvent, en réaction à un message à acheminer.
- ⇒ Indique l'existence d'une meilleure route vers une destination



Autres apports d'IPv6

- Sécurité

- ⇒ Accent mis sur la sécurité des données (Authentification, confidentialité et intégrité)
- ⇒ Deux extensions : authentification (se charge de l'intégrité) & confidentialité

- Routage à la source possible

- ⇒ Routage par politiques, QoS

- QoS

- ⇒ Champ "Class" => différenciation de services
- ⇒ Champ "flow label" => réservation de ressources

- Mobilité

- ⇒ Mobile IP amélioré
- ⇒ Acquisition aisée d'une adresse globale valide et unique
- ⇒ *Router Advertisement* utilisés pour détecter un changement de domaine
- ⇒ Adresse anycast pour joindre son home agent



Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

En-tête

Auto-configuration

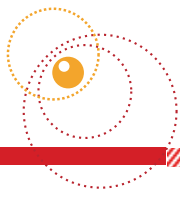
Transition

État des lieux



Transition d'un monde vers l'autre

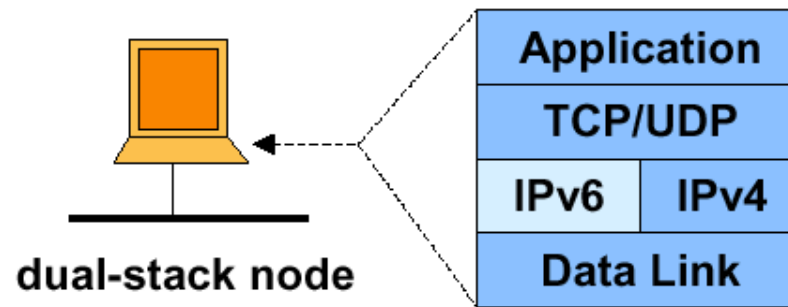
- La transition ne peut être immédiate
 - ⇒ Trop de matériels, d'organisations, etc. impliqués
 - ⇒ Tout le monde ne voit pas l'intérêt (utilisateurs finaux en particulier)
- Aucune compatibilité (ascendante ou descendante) n'est assurée
 - ⇒ Comment intégrer des terminaux IPv6 sur un sous-réseau IPv4 ?
 - ⇒ Que faire des terminaux IPv4 sur un sous- réseau IPv6 ?
 - ⇒ Que faire avec les applications IPv4 ?
 - ⇒ etc.



Évolution des équipements

- Double pile de protocoles

⇒ C'est le cas de la plupart des terminaux



- Inconvénients :

⇒ Tous les hôtes doivent avoir une adresse IPv6 ET une adresse IPv4

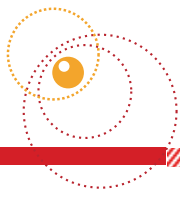
⇒ Contraire aux raisons qui poussent vers IPv6

⇒ Routage complexe



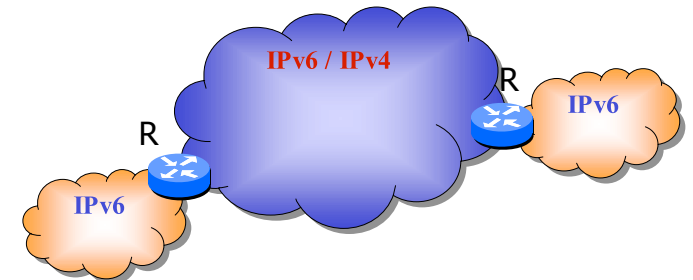
Traverser un domaine IPv4 (1)

- Comment connecter une machine avec des applications IPv6 à un réseau IPv4 ?
- S'effectue, à la manière d'un VPN, en créant un *tunnel*
 - ⇒ Contact d'un serveur dit *tunnel broker* connu à l'avance
 - ⇒ Établissement d'un tunnel IPv4 via *tunnel setup protocol* (TSP) ; encapsulation d'IPv6 dans IPv4
 - ⇒ Le trafic normal IPv4 passe alors par le réseau classique, alors que tout le trafic IPv6 passe par le *tunnel broker*
- Machine derrière un NAT : Teredo
 - ⇒ Tunnels IPv6 sur UDP via un serveur défini lors de la configuration initiale



Traverser un domaine IPv4 (2)

- Deux machines IPv6 dans un même réseau IPv4 : ISATAP
 - ⇒ Création automatique de tunnels IPv4 encapsulant l'IPv6
 - ⇒ Utilisation d'un type d'adresses IPv6 particulières pour indiquer à une passerelle qu'il faut faire de l'encapsulation
- Inetrconnexion de **sites** IPv6 par un réseau IPv4
 - ⇒ 6to4 : tunnels semi-automatiques (RFC 3056, 3068)
 - ⇒ Le préfixe du domaine IPv6 est construit à partir de l'adresse IPv4 du routeur de bordure
`2002:8ac3:802d:1242:20d:60ff:fe38:6d16`
 - ⇒ 6PE : utilisation de MPLS
 - ⇒ Configuration des tunnels dans un AS via iBGP
 - ⇒ Correspondances préfixes IPv6 / Labels MPLS





Persistance d'applications & services IPv4 dans un réseau IPv6

- Mécanisme DSTM (Dual Stack Transition Mechanism)
 - ⇒ Allocation dynamique d'adresses IPv4 lorsque du trafic IPv4 arrive de / pour un hôte du réseau
 - ⇒ Encapsulation d'IPv4 dans IPv6 dans le réseau
 - ⇒ Nécessite peu d'adresses IPv4
- Relais applicatifs (*Application Level Gateway*)
 - ⇒ Des noeuds dédiés jouent le rôle de proxies pour certains protocoles
 - ⇒ Une adresse IPv4 par proxy seulement
 - ⇒ Double pile de protocoles inutiles dans les terminaux
 - ⇒ Limite le nombre d'applications admissibles
- NAT-PT (NAT - Protocol Translation - RFC 2766)
 - ⇒ Mécanisme de traduction d'adresse
 - ⇒ Dans les routeurs de bordure IPv6 - IPv4
 - ⇒ Ne nécessite pas de double pile dans les terminaux



Évolution des applications

- Les applications devraient être re-programmées...
 - ⇒ Longueur d'adresse : 1 entier (32 bits) vers 4 entiers, types de sockets, gestion du broadcast, etc.
 - ⇒ Il est peu envisageable de n'avoir que des applications compatibles IPv6 dans un futur proche
- Si on a des terminaux avec deux piles de protocoles :
 - ⇒ Tunnels IPv6 transportant le trafic IPv4
 - ⇒ Bump In the Stack (BIS - RFC 2767) - modification de la pile IP pour générer un trafic IPv6 à partir du trafic IPv4
 - ⇒ Bump In the API - modifier les bibliothèques afin de détecter les appels aux primitives IPv4



Plan

Pourquoi IPv6

Rappels sur IPv4

État de l'espace d'adressage

Adressage

En-tête

Auto-configuration

Transition

État des lieux

RES 343

Claude Chaudet

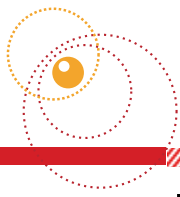
Claude.Chaudet@enst.fr



Licence de droits d'usage



Page 33



IPv6 aujourd'hui

- Les services réseaux sont prêts
 - ⇒ allocation des plages d'adresse démarrée en 14 juillet 1999
 - ⇒ DNS publie les enregistrements AAAA depuis 2004
- Les équipements sont prêts
 - ⇒ Terminaux, équipements d'interconnexion
- Beaucoup d'applications sont prêtes
 - ⇒ Les grands systèmes et les principaux logiciels réseaux (serveur Web etc.)
- Reste à mettre à jour les réseaux d'accès
 - ⇒ Free a annoncé le support IPv6 en décembre 2007 ; Orange prévu en 2013
 - ⇒ La plupart des autres FAI réservent l'offre aux clients professionnels
- Les choses ont bougé au niveau politique
 - ⇒ La commission Européenne a fixé un objectif (mai 2008) de 25% de l'industrie, l'administration et les foyers sur IPv6 en 2010
 - ⇒ Décision 62 du rapport Atali concerne explicitement IPv6

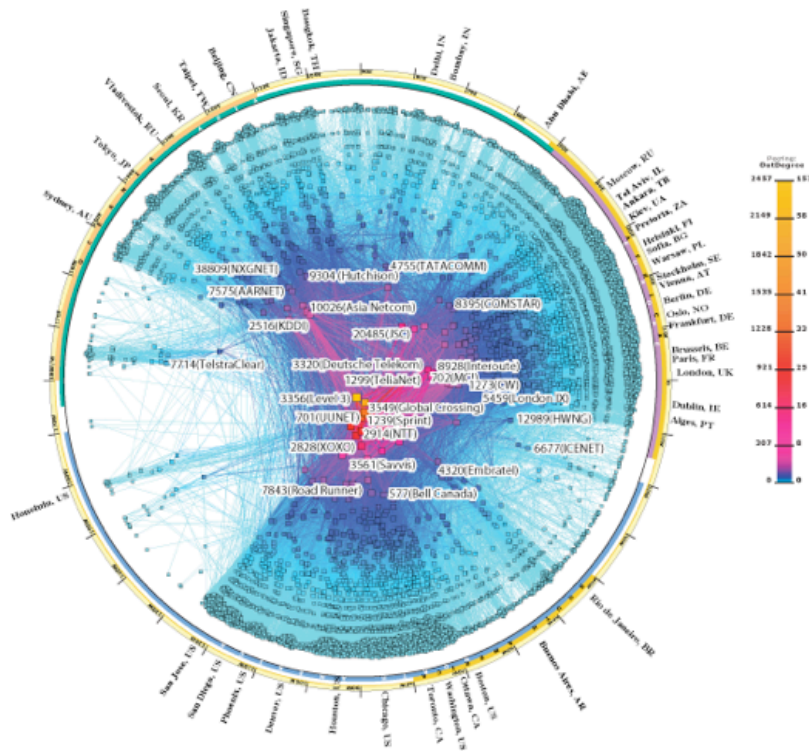


Déploiement comparé IPv4 - IPv6 2009

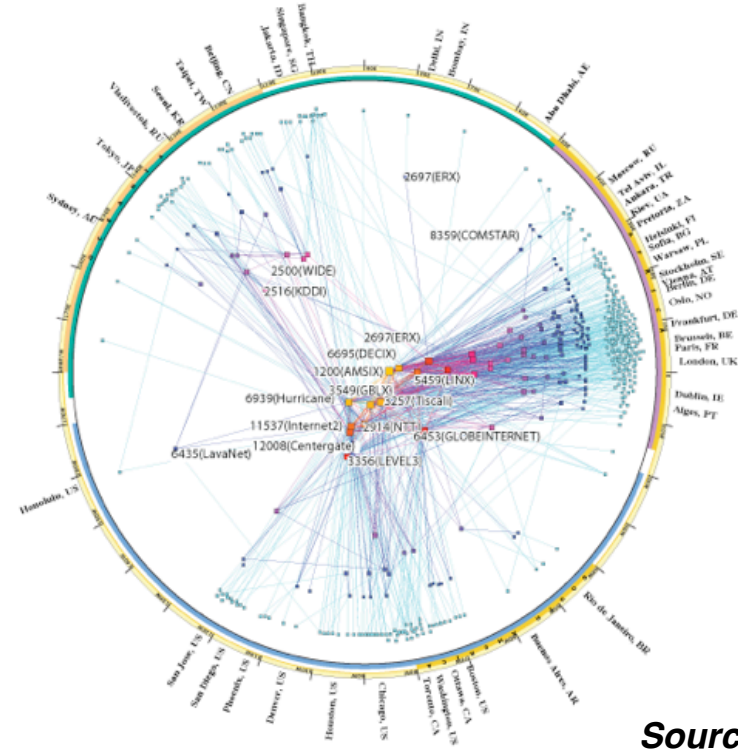
IPv4 & IPv6
INTERNET TOPOLOGY MAP
JANUARY 2009

AS-level INTERNET GRAPH

IPv4



IPv6



Source : CAIDA

copyright © 2009 UC Regents. all rights reserved.

RES 343

Claude Chaudet

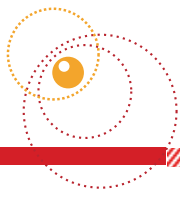
Claude.Chaudet@enst.fr



Licence de droits d'usage

Page 35

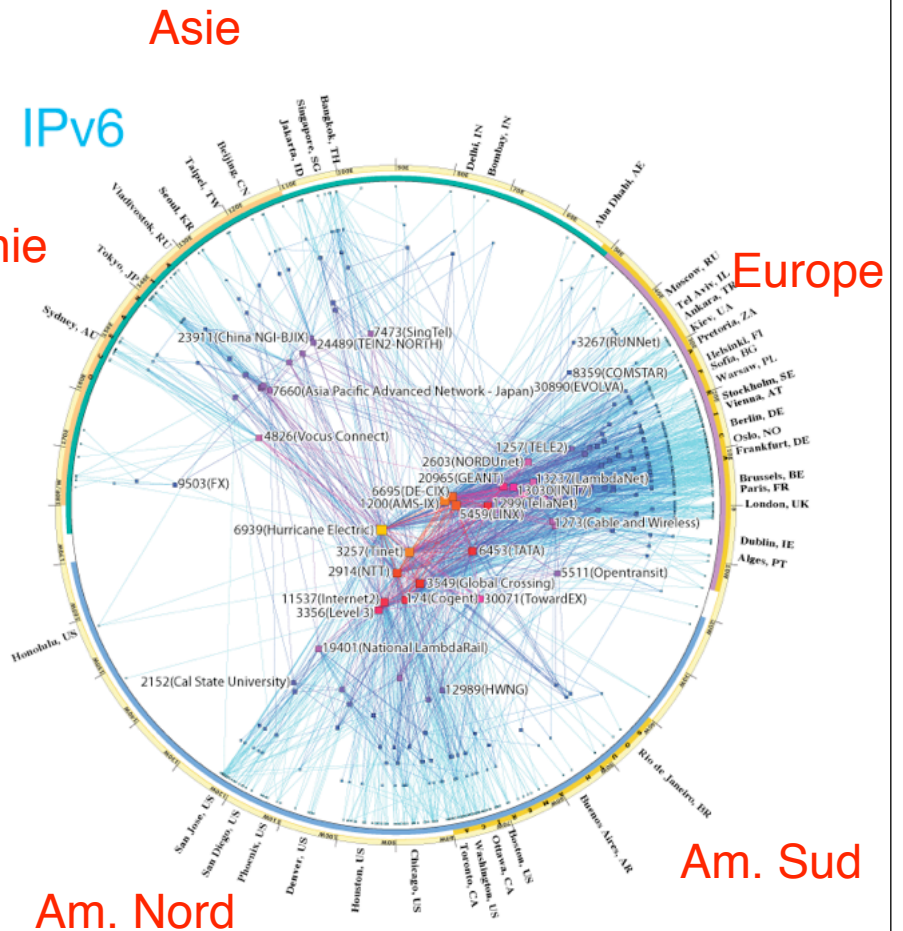
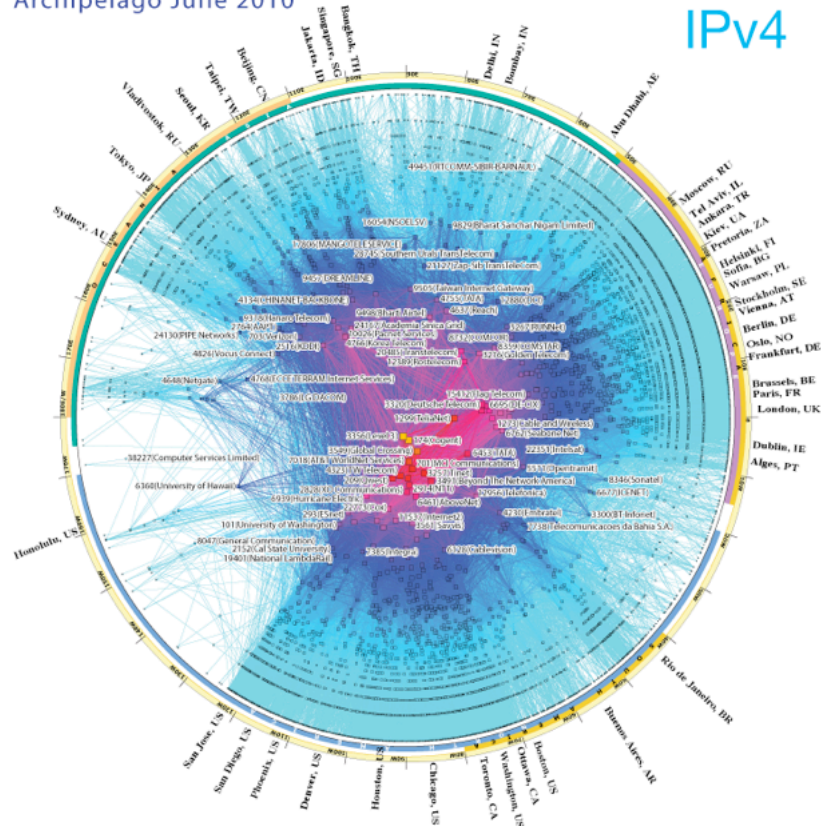




Déploiement comparé IPv4 - IPv6 2010

CAIDA's IPv4 & IPv6 AS Core AS-level INTERNET GRAPH

Archipelago June 2010



copyright © 2010 UC Regents. all rights reserved.

RES 343

Claude Chaudet

Claude.Chaudet@enst.fr



Licence de droits d'usage



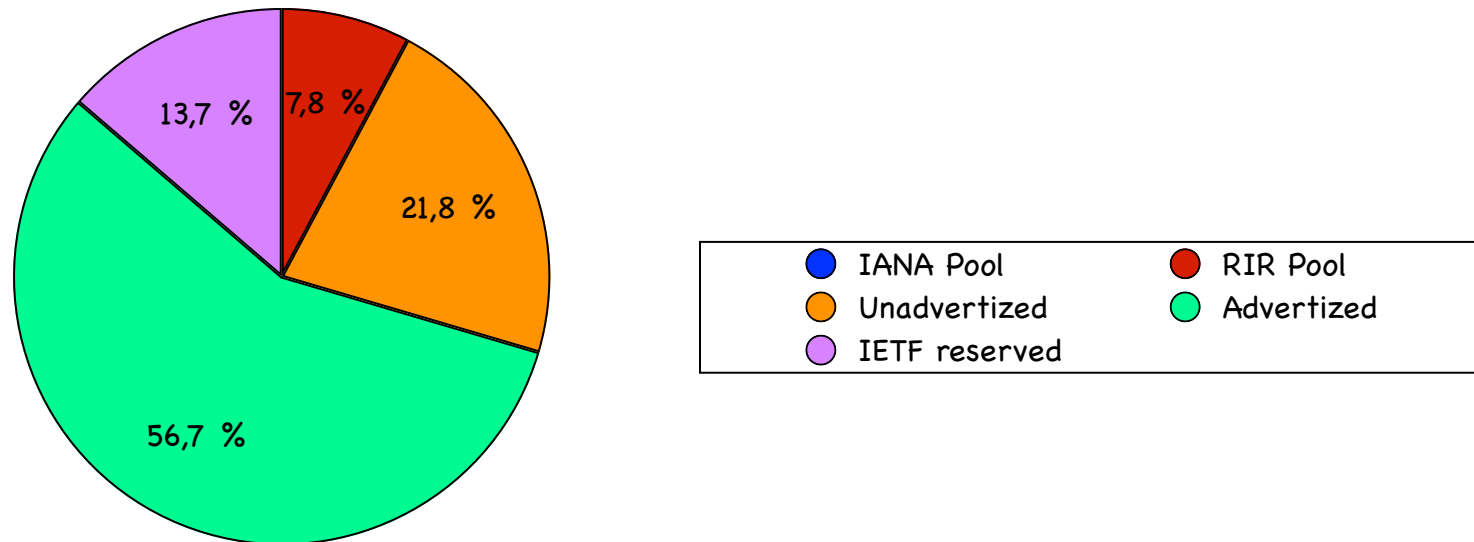
Page 36



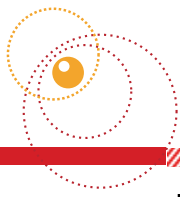
Épuisement des adresses : aujourd'hui

● Statistiques actuelles IPv4 (Jan. 2009)

⇒ <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/>



⇒ Epuisement des adresses non allouées :
Espace épuisé à l'IANA et proche pour les RIR



Pourquoi IPv6...

- Pour l'utilisateur final

- ⇒ Multiplication cohérente des terminaux
- ⇒ Capacité d'anonymat accrue *sur certains aspects*
- ⇒ Suppression du NAT => amélioration des applications non-client / serveur
- ⇒ Pour l'Internet des objets (groupes ROLL, 6LowPan etc. à l'IETF)

- Pour les opérateurs

- ⇒ Encore peu intéressant commercialement
- ⇒ Il faut développer des services / applications !

- Choix politique

- ⇒ Asie en 2000 ; UE en 2007 ; ...

- Techniquement

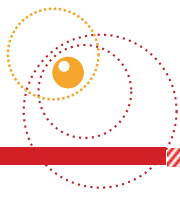
- ⇒ Pour éviter l'explosion des tables de routage
- ⇒ Pour éviter le "marché noir" des adresses IPv4



Bibliographie, pour en savoir plus

- Un livre en ligne (G6 / Point6) :
⇒ <http://livre.g6.asso.fr>





Licence de droits d'usage



Contexte académique *avec modifications*

Par le téléchargement ou la consultation de ce document, l'utilisateur accepte la licence d'utilisation qui y est attachée, telle que détaillée dans les dispositions suivantes, et s'engage à la respecter intégralement.

La licence confère à l'utilisateur un droit d'usage sur le document consulté ou téléchargé, totalement ou en partie, dans les conditions définies ci-après, et à l'exclusion de toute utilisation commerciale.

Le droit d'usage défini par la licence autorise un usage dans un cadre académique, par un utilisateur donnant des cours dans un établissement d'enseignement secondaire ou supérieur et à l'exclusion expresse des formations commerciales et notamment de formation continue. Ce droit comprend :

- le droit de reproduire tout ou partie du document sur support informatique ou papier,
- le droit de diffuser tout ou partie du document à destination des élèves ou étudiants,
- le droit de modifier la forme ou la présentation du document,
- le droit d'intégrer tout ou partie du document dans un document composite et de le diffuser dans ce nouveau document, à condition que :
 - L'auteur soit informé,
 - Le document dérivé soit diffusé dans un cadre académique.

Les mentions relatives à la source du document et/ou à son auteur doivent être conservées dans leur intégralité.

Le droit d'usage défini par la licence est personnel et non exclusif. Tout autre usage que ceux prévus par la licence est soumis à autorisation préalable et expresse de l'auteur : sitepedago@enst.fr

