

MOOC IPv6

Semaine 1

Document Compagnon¹

Par

Jacques Landru

TELECOM Lille.

Auteur 2

...

¹ Le contenu de ce document d'accompagnement du MOOC IPv6 est publié sous

Licence Creative Commons CC BY-SA 4.0 International



Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

Avertissement Ce résumé n'indique que certaines des dispositions clé de la licence. Ce n'est pas une licence, il n'a pas de valeur juridique. Vous devez lire attentivement tous les termes et conditions de la licence avant d'utiliser le matériel licencié.

Creative Commons n'est pas un cabinet d'avocat et n'est pas un service de conseil juridique. Distribuer, afficher et faire un lien vers le résumé ou la licence ne constitue pas une relation client-avocat ou tout autre type de relation entre vous et Creative Commons.

Clause C'est un résumé (et non pas un substitut) de la licence.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Vous êtes autorisé à :

- **Partager** — copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats
- **Adapter** — remixer, transformer et créer à partir du matériel
- pour toute utilisation, y compris commerciale.

L'Offrant ne peut retirer les autorisations concédées par la licence tant que vous appliquez les termes de cette licence.

Selon les conditions suivantes :

Attribution — You must give **appropriate credit**, provide a link to the license, and **indicate if changes were made**. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

Partage dans les Mêmes Conditions — Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Oeuvre originale, vous devez diffuser l'Oeuvre modifiée dans les même conditions, c'est à dire avec **la même licence** avec laquelle l'Oeuvre originale a été diffusée.

No additional restrictions — Vous n'êtes pas autorisé à appliquer des conditions légales ou des **mesures techniques** qui restreindraient légalement autrui à utiliser l'Oeuvre dans les conditions décrites par la licence.

Notes: Vous n'êtes pas dans l'obligation de respecter la licence pour les éléments ou matériel appartenant au domaine public ou dans le cas où l'utilisation que vous souhaitez faire est couverte par une **exception**.

Aucune garantie n'est donnée. Il se peut que la licence ne vous donne pas toutes les permissions nécessaires pour votre utilisation. Par exemple, certains droits comme **les droits moraux, le droit des données personnelles et le droit à l'image** sont susceptibles de limiter votre utilisation.

Les informations détaillées sont disponibles aux URL suivantes :

- <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.fr>
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Creative_Commons

Tables des séquences

Séquence 11 : Qu'est ce qu'une adresse IP ?.....	5
Introduction à l'adressage.....	5
Fonctions d'une adresse réseau.....	5
Question de taille.....	5
Durée de vie d'une adresse.....	7
Séquence 12 : Notation d'une adresse IPv6.....	9
Notation.....	9
Notation des adresses par l'exemple.....	9
Notation canonique pour l'affichage.....	10
Notation des préfixes.....	10
Notation des URL : cas de la spécification du numéro de port.....	12

Séquence 11 : Qu'est ce qu'une adresse IP ?

Introduction à l'adressage

Le format et la représentation des adresses sont les éléments les plus directement visibles, de la nouvelle version du protocole, pour l'utilisateur et l'administrateur réseau. La pénurie des adresses IPv4 étant l'élément qui a motivé la création d'une nouvelle version du protocole, la définition du nouveau format d'adressage a conditionné certains choix techniques pour IPv6. Bien que les principes de base soient dérivés de ceux employés en IPv4, cet adressage apparaît de prime abord plus complexe. Il est important de se familiariser avec les règles et les principes de représentation et d'attribution avant d'aborder le nouveau protocole.

Fonctions d'une adresse réseau

Dans une architecture IP, une adresse sert en fait à deux fonctions distinctes:

- L'identification : Une adresse de niveau réseau identifie de manière unique la machine parmi les « N » machines du réseau, « N » pouvant être arbitrairement grand, dans l'Internet par exemple. L'identification permet à deux interlocuteurs de se reconnaître pendant un connexion. Cette vérification est mise en oeuvre dans les pseudo entêtes d'une connexion TCP ou dans les associations de sécurité IPSec.
- La localisation : La localisation est utilisée pour décider de la remise directe ou de la recherche d'un intermédiaire qui saura délivrer les datagrammes, selon le principe du routage en saut par saut . En fait elle ne varie qu'en cas de changement de prestataire IP ou de réorganisation de site. La localisation est découpée en deux parties : localisation globale, identifiant le réseau et localisation locale distinguant les machines sur un même réseau. Ces deux niveaux de localisation auront une influence déterminante dans la structuration du format des adresses, que nous verrons ultérieurement.

Lors des études initiales IPv6, il avait été envisagé de séparer les deux fonctions pour faciliter la résolution des problèmes liés à la renumérotation, la mobilité ou la multi-domiciliation. Pour l'instant, la séparation des fonctions est encore à l'état de recherche, et les premiers plans d'adressage IPv6 continuent, comme en Ipv4, à lier les deux fonctions. De même, comme en IPv4, on considérera qu'une adresse est associée à une interface. Une machine peut posséder plusieurs interfaces. De même une interface peut supporter plusieurs adresses.

Question de taille

Une adresse IPv6 est un mot de 128 bits (16 octets). Cette taille de 128 bits semble techniquement bien adaptée aux mots manipulés par les processeurs d'aujourd'hui. Les processeurs 32 bits et 64 bits sont aujourd'hui banalisés. Le quadruplement, comparativement à la version précédente d'IP, de la longueur binaire de l'adresse fait apparaître l'adressage IPv6 comme plus "ardu". Cette complexité n'est qu' apparente, elle traduit la nécessaire adaptation au changement, pour laquelle la plupart d'entre nous montrons naturellement une réticence initiale. Certes la représentation des adresses de 16 octets a nécessité l'abandon de la notation décimale pointée pour une nouvelle notation hexadécimale (cf séquence suivante), qui est un

compromis raisonnable pour la manipulation des adresses par les administrateurs réseau. Pour le commun des utilisateurs l'auto-configuration et la banalisation des services de nommage (DNS Domain Name Service) et des annuaires réseaux suppléeront, comme pour IPV4, la nécessité d'avoir à manipuler directement les adresses.

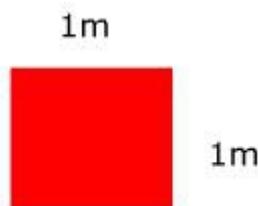
Les principes de structuration de cet adressage dérivent des techniques déjà utilisées en IPv4, à savoir une classification de divers plans d'adressage sur les parties hautes de l'adresse (c'est à dire sur les préfixes les plus courts), associée à une agrégation des tables de routage généralisant la méthode dite CIDR (Classless Inter Domain Routing) dans laquelle l'usage de divers masques de taille « élastique » permet une certaine souplesse dans la définition et l'attribution des préfixes, une optimisation de l'espace d'adressage limitant le gaspillage des larges portions d'adresses, comparativement à IPv4, ainsi qu'une optimisation du routage en facilitant sa hiérarchisation (les équipements des opérateurs de cœur de l'internet prennent leur décision de routage sur des préfixes courts, les « grandes directions », alors que les équipements de routage des opérateurs de distribution, en périphérie du réseau, routent sur des préfixes plus longs, ce qui a pour effet de contenir la taille des tables de routage de cœur du réseau dans des proportions raisonnables.

Toutefois, en IPv4, l'amélioration induite par CIDR semble limitée du fait que les adresses de 32 bits sont trop courtes pour permettre une bonne structuration et qu'il faut assumer le coût du passé où les adresses ont été allouées sans préoccupation d'organisation d'ordre hiérarchique ou géographique. Malgré ces limitations l'adressage IPv6 s'appuie de facto sur CIDR. La gestion des tables de routage, dans le cœur du réseau s'en trouvera quand même améliorée car :

- dès le début le plan d'adressage est hiérarchisé, éliminant les longs préfixes,
- les sites multi-domiciliés posséderont autant d'adresses que de fournisseurs de service,
- des mécanismes de renumérotation automatique faciliteront le changement de préfixes, lors du changement de fournisseur d'accès ou de basculement sur un nouveau plan d'adressage.

Le nombre de combinaisons possibles sur 128 bits (2 à la puissance 128) est "astronomique", il dépasse les 3.4×10 puissance 38 . Certaines estimations encadrent le nombre d'adresses disponibles par mètre carré de la surface terrestre, océans compris, entre $1\ 564$ et $3\ 911\ 873\ 538\ 269\ 506\ 102$ adresses au m².

$1\ 564 < @$ au mètre carré océans compris $< 3\ 911\ 873\ 538\ 269\ 506\ 102$



1 564 < @ au mètre carré océans compris < 3 911 873 538 269 506 102

Sans tomber dans l'optimisme béat de ces grandeurs, ni le pessimisme primitif rappelant qu'au début d'Arpanet (réseau ancêtre d'internet dans les années 1960) les 4 milliards d'adresses possibles d'IPv4 (2 puissance 32) paraissaient également une limite matériellement inaccessible ; force est de constater que l'adressage IPv6 est largement dimensionné et qu'une organisation raisonnée de cet espace devrait lui offrir une certaine pérennité. Il est toutefois difficile de prévoir l'utilisation des adresses dans le futur. Ainsi, par exemple, le plan d'adressage actuellement mis en oeuvre utilise un identifiant d'équipement de 64 bits, c'est à dire la moitié de la taille de l'adresse. En fait ce genre de calcul n'est qu'un argument pour justifier l'usage de préfixes d'adresses de taille fixe, qui simplifie le traitement de l'en-tête des datagrammes.

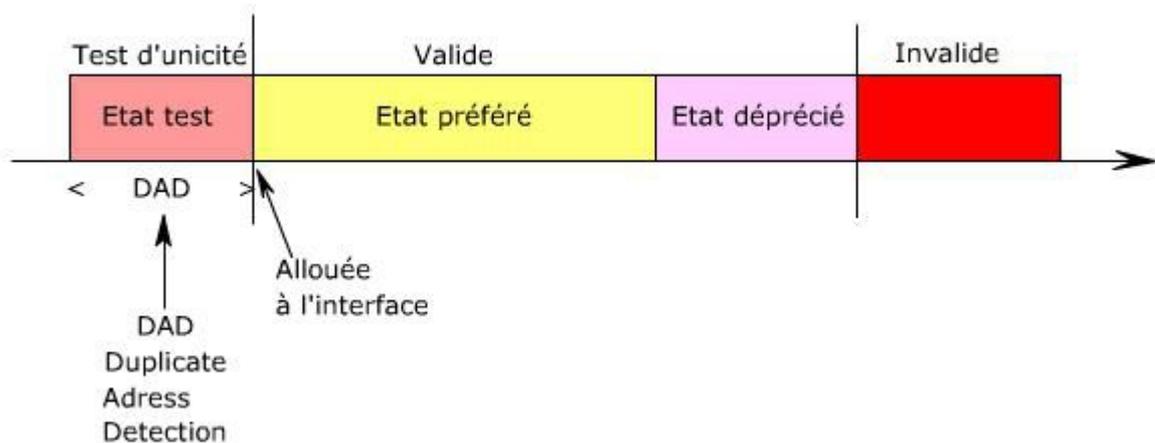
Durée de vie d'une adresse

IPv6 généralisant le plan d'adressage CIDR, les préfixes restent dans tous les cas la propriété des opérateurs. Il ne peuvent plus être attribués "à vie" aux équipements. Les adresses IPv6 sont donc « prêtées » aux interfaces des équipements. L'attribution d'une adresse à une interface est faite temporairement. Une durée de vie est associée à l'adresse qui indique le temps pendant lequel l'adresse appartient à l'interface. Cela facilite la renumérotation des machines. Quand la durée de vie est épuisée, l'adresse devient invalide, elle est supprimée de l'interface et devient potentiellement assignable à une autre interface. Une adresse invalide ne doit jamais être utilisée comme adresse de communication. La valeur par défaut est de 30 jours, mais cette durée peut être étendue, voire portée à l'infinie (valeur réservée tous bits à 1). L'adresse lien-local a une durée de vie illimitée.

La renumérotation de l'interface d'un équipement consiste à passer d'une adresse à une autre. Lors de cette opération, il n'est pas souhaitable de changer brusquement d'adresse, sinon toutes les connexions TCP en cours, qui l'utilisent comme identificateur, seraient brutalement coupées. Ceci pourrait entraîner des perturbations applicatives. Pour faciliter cette transition, un mécanisme d'obsolescence est mis en place pour invalider progressivement une adresse. Ce mécanisme s'appuie sur la capacité d'affectation de plusieurs adresses valides à une même interface. Un état est associé à chaque adresse. Il intervient dans la sélection de l'adresse à utiliser. Cet état indique dans quelle phase de sa durée de vie une adresse se situe vis à vis de l'interface. Une première phase consiste à vérifier l'unicité de l'adresse sur le lien à l'aide de l'algorithme de détection de duplication (DAD Duplicate Address Detection). En cas de succès

de l'algorithme, l'adresse est effectivement allouée à l'interface. Durant cette phase de test l'adresse ne peut être utilisée pour communiquer (cf découverte des voisins).

Après l'allocation de l'adresse à l'interface, le premier des états est qualifié de préféré : l'utilisation de l'adresse n'est alors pas restreinte. Peu avant son invalidation l'adresse passe dans un état dit déprécié. Son utilisation est déconseillée mais pas interdite. Elle ne doit plus être utilisée comme adresse source pour de nouvelles communications (établissement de connexions TCP par exemple). Par contre elle peut encore servir d'adresse source pour les connexions existantes. Les datagrammes reçus à une adresse dépréciées continuent à être remis normalement. A la durée de validité, il est également associé une durée de son état préféré.



Ressources complémentaires à cette séquence

- Le lecteur intéressé par l'état des travaux sur la séparation des fonctions d'identification et de localisation des adresses, pourra consulter les références suivantes :
- <http://www.bortzmeyer.org/separation-identificateur-localisateur.html>
- <http://www.bortzmeyer.org/lisp-wg>
- <http://www.bortzmeyer.org/7215.html>

Séquence 12 : Notation d'une adresse IPv6

Notation

IPv6 a abandonné la notation décimale pointée, en usage pour les adresses IPv4 (en 32 bits, soit 4 octets), on indique la valeur décimale de chaque octet séparée par un point décimal ; exemple l'adresse IPv4 192.168.0.1). Cette notation est en effet inadaptée pour des chaînes binaires de 16 octets. IPv6 a adopté la notation hexadécimale (*) couramment utilisée dans le monde informatique pour représenter des octets par des couples de nombres hexadécimaux.

(*) Le lecteur peu familier avec le système de numération hexadécimale pourra consulter avec intérêt les ressources complémentaires indiquées à la fin de cette séquence.

Notation des adresses par l'exemple

Les 16 octets (128 bits) des l'adresse IPv6 suivante se notent en binaire :

```
00100000 00000001 00001101 10111000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 0000
1000 00001000 00000000 00100000 00001100 01000001 01111010
```

et s'écrivent en hexadécimal (*) sous la forme suivante :

```
20 01 0d b8 00 00 00 00 00 08 08 00 20 0c 41 7a
```

couramment notés (le préfixe 0x indiquant que la chaîne suivante est en notation hexadécimale).

```
0x20010db8000000000000080800200c417a
```

(*) Le lecteur peu familier avec le système de numération hexadécimale pourra consulter avec intérêt les ressources complémentaires indiquées à la fin de cette séquence.

La représentation "textuelle" des adresses IPv6 se fait en segmentant le mot de 128 bits en 8 champs de 16 bits (2 octets) séparés par le caractère ":". Chacun de ces champs est transcrit en 4 chiffres hexadécimaux.

L'adresse précédente se note donc :

```
2001:0db8:0000:0000:0008:0800:200c:417a
```

Par convention, il n'est pas nécessaire d'écrire les zéros de poids fort placés en tête de champ (dans chaque mot de 16 bits les zéros de poids fort sont non significatifs).

L'adresse peut donc prendre une notation plus compacte :

```
2001:db8:0:0:8:800:200c:417a
```

Plusieurs champs nuls consécutifs peuvent être "abrévés" par l'abréviation "::" (2 caractères ':' successifs, sans espace). Attention **Pour éviter toute ambiguïté cette abréviation ne peut être utilisée qu'une seule fois par adresse !**

Exemple	l'adresse	peut également s'écrire
Une adresse unicast	2001:0db8:0:0:800:200c:417a	2001db8::800:200c:417a

Exemple	l'adresse	peut également s'écrire
Une adresse multicast	ff01:0:0:0:0:0:0:101	ff01::101
Adresse de bouclage (loopback address)	0:0:0:0:0:0:0:1	::1
Adresse non spécifiée (unspecified address)	0:0:0:0:0:0:0:0	::

Notation canonique pour l'affichage

Les adresses Ipv6 peuvent donc avoir plusieurs représentations valides possibles. La RFC5952 fournit les recommandations pour une forme de représentation canonique des adresses. Cette forme est destinée aux procédures d'affichage (par les programmes, les appels systèmes inscrivant des événements dans les fichiers journaux (logs),...). Cette recommandation ne porte donc que sur les sorties d'adresses (affichage). En entrée (configuration d'équipement, passage de paramètres ...) un logiciel devrait toujours accepter les différentes formes valide. La saisie reste donc libre. (lecture recommandée <http://www.bortzmeyer.org/5952.html>).

Concrètement, selon cette RFC 5992, une adresse devrait être affichée selon la forme suivante :

- Les zéros initiaux (non significatifs) doivent être supprimés ;
- L'indication d'une suite de champs nuls consécutifs « :: » doit être utilisée au maximum (sur la série nulle la plus longue). En cas d'égalité on l'applique sur la première :
 - 2001:db8:0:42:0:0:0:1 → 2001:db8:0:42::1
 - 2001:db8:0:0:42:0:0:1 → 2001:db8::42:0:0:1
- Les chiffres hexadécimaux doivent être en minuscules ;
- si le numéro de port (TCP ou UDP) doit être indiqué, l'usage de crochets encadrant l'adresse devient obligatoire (auparavant cet usage ne l'était que pour les URL).

Notation des préfixes

La notation des préfixes définie par CIDR (RFC1519) pour IPv4 est conservée pour IPv6. Le préfixe indique le nombre de bits de poids fort de l'adresse (la partie haute de l'adresse, c'est à dire dans le sens de lecture occidentale les chiffres à gauche de l'adresse) utilisés par la fonction de routage d'un équipement pour prendre sa décision de routage (vers quelle interface de sortie il doit réémettre le datagramme, cf notion de routage du MOOC Principes des Réseaux de Données)

La notation du préfixe d'adresse se fait en séparant l'adresse, du nombre de bits du préfixe par un caractère « / » (le caractère « diviseur » du pavé numérique de votre clavier).

Adresse-ipv6/longueur-en-bits-du-préfixe

Exemple : les trois notations suivantes de préfixe sont équivalentes, car le préfixe ne concerne que les 60 bits de poids fort de l'adresse

```
2001:db8:24:a1a1:8:800:200C:417a/60
2001:db8:0024:a1a1:0000:0000:0000:0000/60
2001:db8:24:a1a1:0008:0800:200c:417a/60
2001:db8:24:a1a1::/60
```

Dans l'affichage ci dessous, les chiffres hexadécimaux portant les bits de préfixe ont été graissés pour une meilleure lisibilité :

```
2001:db8:24:a1a1:8:800:200C:417A/60
2001:db8:0024:a1a1:0000:0000:0000:0000/60
2001:db8:24:a1a1:0008:0800:200c:417a/60
2001:db8:24:a1a1::/60
```

On peut combiner l'adresse d'une interface et la longueur du préfixe réseau associé (1^{er} exemple ci dessus) ou ne représenter que le préfixe (dernier exemple ci dessus) lorsque l'on donne explicitement sa valeur.

Concrètement

Le noeud d'adresse	2001:db8:24:a1a1:8:800:200C:417a/60
avec un préfixe de sous réseau	2001:db8:24:a1a1::/60
peut se noter	2001:db8:24:a1a1:8:800:200C:417a/60

On notera une petite difficulté de cette convention de notation pour les préfixes qui ne sont pas alignés sur une frontière de mots de 16 bits, d'octet ou de demi octet,

Exemple les préfixes suivants sont équivalents et les 3 bits de poids fort du premier octet du quatrième mot de 16 bits sont concernés par le préfixe

```
2001:db8:7654:3::/51
2001:db8:7654:0000::/51
2001:db8:7654:0003::/51
```

