

Introduction	Présentation @IPv6	Types @IPv6	Unicast @IPv6	Multicast @IPv6	Segmentation @IPv6	Configuration @IPv6	Bilan @IPv6
○○○○	○○○○	○	○○○○○○○○○○	○○	○○	○	○○

Chapitre 8 : Adressage IPv6

Couche Réseau & Internet

Mohammed SABER

Département Électronique, Informatique et Télécommunications
 École Nationale des Sciences Appliquées "ENSA"
 Université Mohammed Premier OUJDA

Année Universitaire : 2021-2022



Mohammed SABER	ENSAO	Chapitre 8	AU-2021-2022	1 / 36
----------------	-------	------------	--------------	--------

Introduction	Présentation @IPv6	Types @IPv6	Unicast @IPv6	Multicast @IPv6	Segmentation @IPv6	Configuration @IPv6	Bilan @IPv6
○○○○	○○○○	○	○○○○○○○○○○	○○	○○	○	○○

Plan de chapitre

- 1 Introduction**
- 2 Présentation de l'adresse IPv6**
- 3 Types d'adresses IPv6**
- 4 Adresses de monodiffusion (Unicast) IPv6**
- 5 Adresses de multidiffusion (Multicast) IPv6**
- 6 La segmentation en sous-réseaux d'un réseau IPv6**
- 7 Configuration statique d'une adresse IPv6**
- 8 Bilan des adresses IPv6**



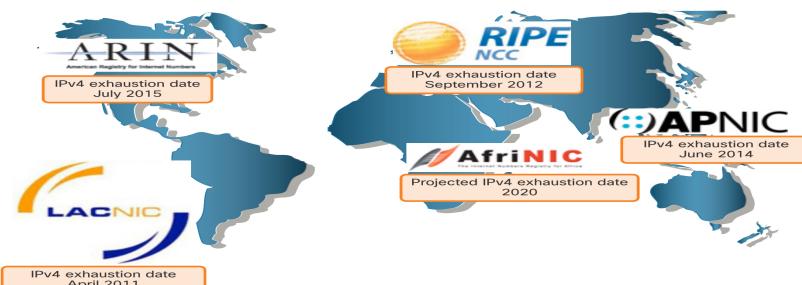
Mohammed SABER	ENSAO	Chapitre 8	AU-2021-2022	2 / 36
----------------	-------	------------	--------------	--------

Introduction

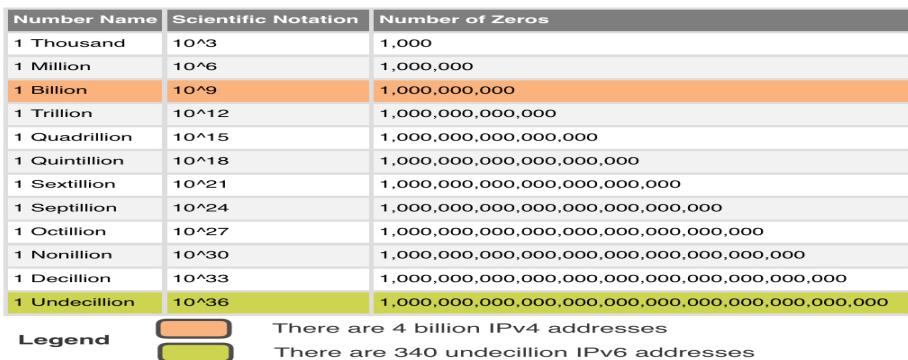
Introduction	Présentation @IPv6	Types @IPv6	Unicat @IPv6	Multicast @IPv6	Segmentation @IPv6	Configuration @IPv6	Bilan @IPv6
●○○○	○○○○	○	○○○○○○○○○○	○○	○○	○	○○

Limites du protocole IPv4

- Théoriquement, l'IPv4 est limité à 4,3 milliards d'adresses.
- Avec l'utilisation croissante d'Internet, un espace limité d'adresses IPv4.
- Les adresses privées, en association avec la traduction d'adresses réseau (NAT), ont été utilisées pour ralentir le manque d'espace d'adressage IPv4.
- La fonction NAT endommage de nombreuses applications et comporte des restrictions qui gênent fortement les communications peer-to-peer (bout en bout).
- **Internet of Everything :**
 - Internet est principalement utilisé pour les e-mails, les pages web et le transfert de fichiers entre ordinateurs.
 - Internet évolue pour devenir un « Internet des objets ».
 - Les appareils pouvant accéder à Internet ne sont plus seulement des ordinateurs, des tablettes et des smartphones.
 - Demain, les appareils connectés et équipés de capteurs concerneront tous les objets du quotidien, notamment les automobiles, les équipements biomédicaux et l'électroménager.
- À mesure que les connexions à Internet augmentent en Afrique, en Asie et dans d'autres parties du monde, les adresses IPv4 deviennent insuffisantes pour prendre en charge cette croissance.



- Le protocole IPv6 est conçu pour être le successeur de l'IPv4.
- L'IPv6 supprime les limites de l'IPv4 et améliore le protocole de façon efficace, grâce à des fonctionnalités qui correspondent mieux aux exigences actuelles et futures des réseaux.
- Les améliorations apportées par l'IPv6 :
 - **Espace d'adressage plus important** : les adresses IPv6 sont basées sur un adressage hiérarchique 128 bits (au lieu de 32 bits pour l'IPv4) pour un total de 340 sextillons d'adresses disponibles (c'est-à-dire 340, suivi de 36 zéros).

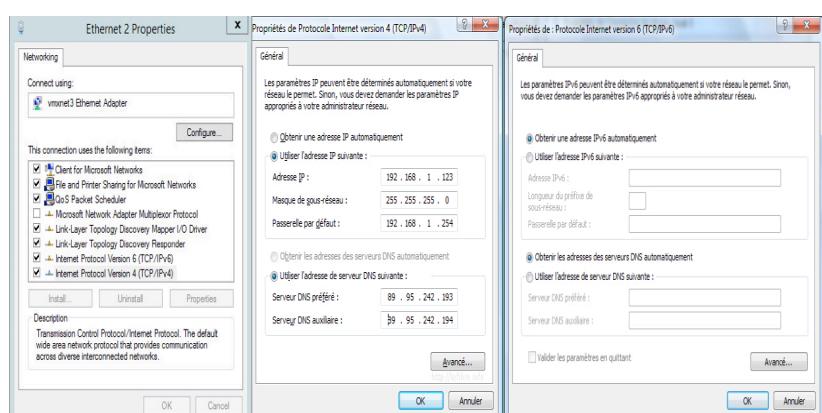
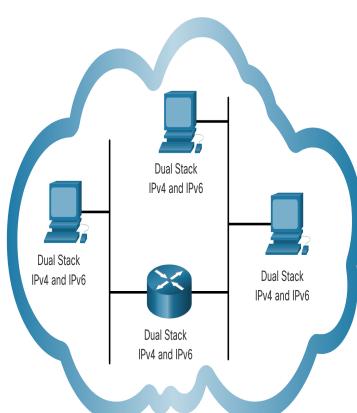


- **Traitements plus efficace des paquets** : l'en-tête IPv6 a été simplifié et comporte moins de champs.
- **Traduction d'adresses réseau inutile** : grâce au grand nombre d'adresses publiques IPv6, la technologie NAT n'est plus nécessaire entre une adresse privée et publique. Cela évite certains des problèmes rencontrés par les applications nécessitant une connectivité de bout en bout.

- La transition vers l'IPv6 n'aura pas lieu à une date fixe.
- Dans un futur proche, l'IPv4 et l'IPv6 vont continuer à coexister. La transition vers l'IPv6 durera probablement plusieurs années.
- Les techniques de migration des réseaux vers l'IPv6 peuvent être classées en trois catégories :

La double pile

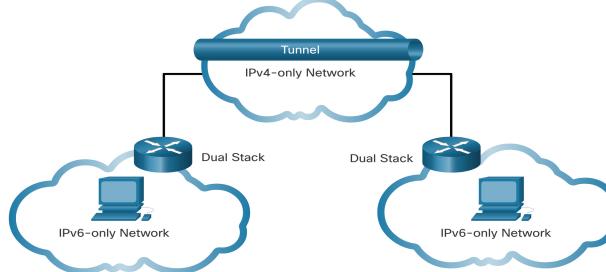
Permet à l'IPv4 et à l'IPv6 de coexister sur le même segment de réseau. Les périphériques double pile exécutent les piles de protocoles IPv4 et IPv6 simultanément.



Les techniques de migration des réseaux vers l'IPv6 peuvent être classées en trois catégories (suite) :

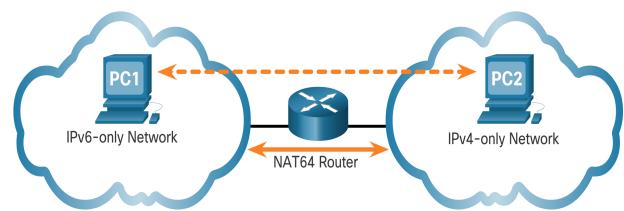
Le tunneling

est une méthode de transport des paquets IPv6 via un réseau IPv4. Les paquets IPv6 sont encapsulés dans des paquets IPv4, de la même manière que d'autres types de données.



La traduction

les périphériques IPv6 peuvent utiliser la traduction d'adresses réseau 64 (NAT64) pour communiquer avec les périphériques IPv4 à l'aide d'une technique de traduction similaire à la NAT pour l'IPv4. Un paquet IPv6 est traduit en un paquet IPv4, et inversement.

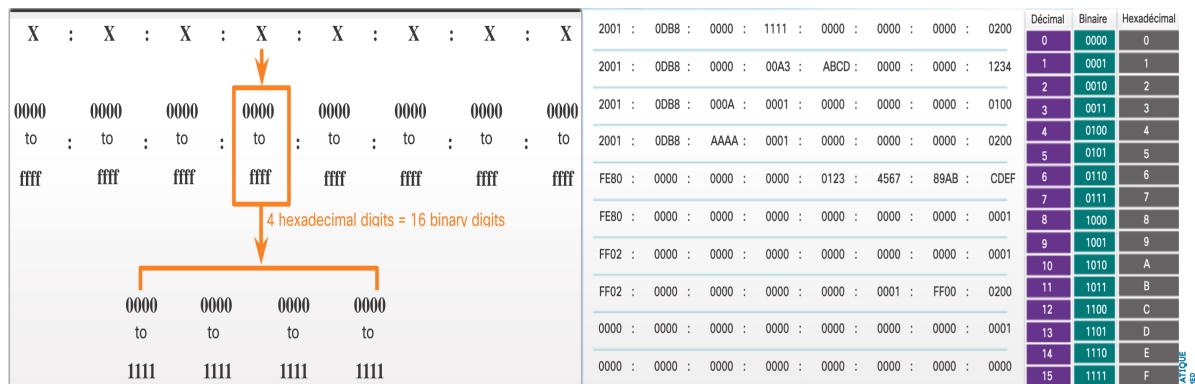


Remarque

le tunneling et la traduction sont utilisés uniquement lorsque nécessaire. L'objectif doit être de communiquer de manière native via le protocole IPv6 depuis la source jusqu'à la destination.

Présentation @IPv6

- Les adresses IPv6 ont une longueur de **128 bits** et sont notées sous forme de chaînes de valeurs hexadécimales.
- Tous les groupes de 4 bits sont représentés par un caractère hexadécimal unique ; pour un total de **32 valeurs** hexadécimales.
- Les adresses IPv6 ne sont pas sensibles à la casse et peuvent être notées en minuscules ou en majuscules.
- Le format privilégié pour noter une adresse IPv6 est **x : x : x : x : x : x : x : x**, où chaque « x » est constitué de quatre valeurs hexadécimales.



- Pour les adresses IPv6, « x » équivaut à un **hextet**. L'**« hextet »** est le terme officiel qui désigne un segment de **16 bits** ou de quatre valeurs hexadécimales.

- Le format privilégié implique que l'adresse IPv6 soit écrite à l'aide de 32 caractères hexadécimaux.
- Cela ne signifie pas nécessairement que c'est la solution idéale pour représenter une adresse IPv6.
- Deux règles permettant de réduire le nombre de chiffres requis pour représenter une adresse IPv6 :

Règle 1 - Omettre les zéros en début de segment

- Pour réduire la notation des adresses IPv6 consiste à omettre les zéros (0) du début d'une section de **hextet** (ou **16 bits**).
- Cette règle s'applique uniquement aux zéros de début de segment et NON aux zéros de fin. L'omission de ces derniers rendrait l'adresse ambiguë.

Recommandé	2 001 : 0 DB8 : 0 0 0 : 1 1 1 1 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 2 0 0	Recommandé	F F 0 2 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 1
Sans zéros en début de segment	2 001 : DB8 : 0 : 1 1 1 1 : 0 : 0 : 0 : 0 : 2 0 0	Sans zéros en début de segment	F F 0 2 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 1
Recommandé	2 001 : 0 DB8 : 0 0 0 A : 3 0 0 : A B C D : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 1 2 3 4	Recommandé	F F 0 2 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 1 : F F 0 0 : 0 2 0 0
Sans zéros en début de segment	2 001 : DB8 : 0 : A 3 0 0 : A B C D : 0 : 0 : 1 2 3 4	Sans zéros en début de segment	F F 0 2 : 0 : 0 : 0 : 0 : 1 : F F 0 0 : 2 0 0
Recommandé	2 001 : 0 DB8 : 0 0 0 A : 1 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 1 0 0	Recommandé	0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 1
Sans zéros en début de segment	2 001 : DB8 : A : 1 0 0 0 : 0 : 0 : 0 : 1 0 0	Sans zéros en début de segment	0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 1
Recommandé	F E 8 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 1 2 3 : 4 5 6 7 : 8 9 A B : C D E F	Recommandé	0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0
Sans zéros en début de segment	F E 8 0 : 0 : 0 : 0 : 1 2 3 : 4 5 6 7 : 8 9 A B : C D E F	Sans zéros en début de segment	0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0

Règle 2 - Omettre les séquences composées uniquement de zéros

- Permettant d'abréger la notation des adresses IPv6 est qu'une suite de deux fois deux points (::) peut remplacer toute chaîne unique et contiguë d'un ou plusieurs segments de 16 bits (hextets) composés uniquement de zéros.
- Une suite de deux fois deux points (::) peut être utilisée une seule fois par adresse, sinon, il serait possible d'aboutir sur plusieurs adresses différentes.
- Il s'agit du « format compressé ».

Recommandé	2 001 : 0 DB8 : 0 0 0 0 : 1 1 1 1 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 2 0 0	Recommandé	FF 02 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 1 : FF 00 : 0 2 0 0
Sans zéros en début de segment	2 001 : DB8 : 0 1 1 1 : 0 : 0 : 0 : 2 0 0	Sans zéros en début de segment	FF 02 : 0 : 0 : 0 : 0 : 1 : FF 00 : 2 0 0
Compressé	2 001 : DB8 : 0 : 1 1 1 1 : : 2 0 0	Compressé	FF 02 : 1 : FF 00 : 2 0 0
Recommandé	2 001 : 0 DB8 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : ABCD : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 1 0 0	Recommandé	FF 02 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 1
Sans zéros en début de segment	2 001 : DB8 : 0 : 0 : ABCD : 0 : 0 : 1 0 0	Sans zéros en début de segment	FF 02 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 1
Compressé	2 001 : DB8 : : ABCD : 0 : 0 : 1 0 0	Compressé	FF 02 : : 1
ou			
Compressé	2 001 : DB8 : 0 : 0 : ABCD : : 1 0 0		
	:: peut être utilisé une seule fois.		
Recommandé	F E 8 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 1 2 3 : 4 5 6 7 : 8 9 A B : C D E F	Recommandé	0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 0 : 0 0 0 1
Sans zéros en début de segment	F E 8 0 : 0 : 0 : 0 : 1 2 3 : 4 5 6 7 : 8 9 A B : C D E F	Sans zéros en début de segment	0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 1
Compressé	F E 8 0 : : 1 2 3 : 4 5 6 7 : 8 9 A B : C D E F	Compressé	: :

- L'IPv6 utilise la longueur de préfixe pour représenter le **NetID** de l'adresse.
- Le protocole IPv6 n'utilise pas la notation décimale à point du masque de sous-réseau.
- La longueur de préfixe est utilisée pour indiquer la partie réseau d'une adresse IPv6 à l'aide de la notation adresse **IPv6/longueur** de préfixe.

64 bits
Prefix

64 bits
Interface ID

Example: 2001:db8:a::/64

2001:0db8:000a:0000

0000:0000:0000:0000

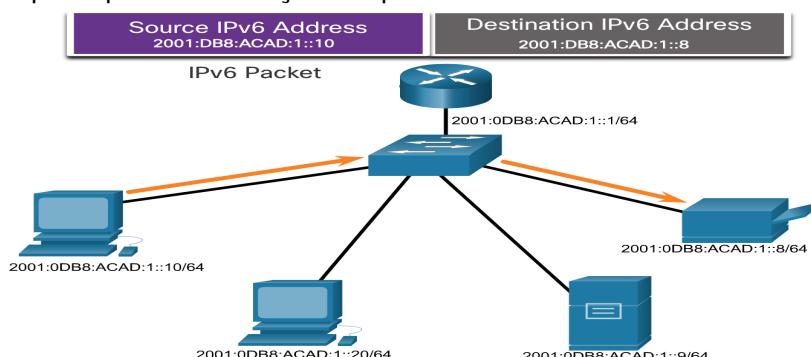
- La longueur de préfixe peut être comprise entre **0** et **128**.
- La longueur de préfixe **IPv6** standard pour les réseaux locaux et la plupart des autres types de réseau est **/64**.
- Cela signifie que le préfixe ou la partie réseau de l'adresse a une longueur de **64 bits**, ce qui laisse **64 bits** pour l'ID d'interface (partie hôte) de l'adresse.

Types @IPv6

Types d'adresses IPv6

Il existe trois types d'adresses IPv6 :

- **Adresse de monodiffusion (Unicast) IPv6** : est utilisée identifier une interface sur un périphérique IPv6 de façon unique.



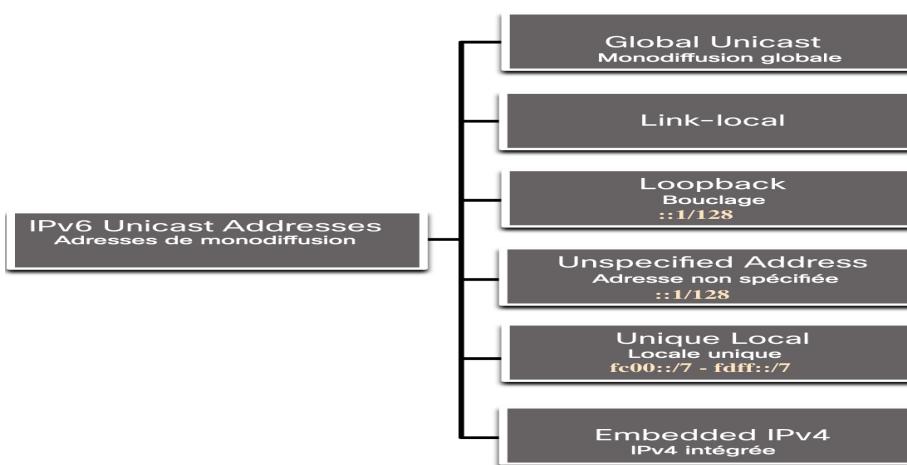
- **Adresse de multidiffusion (Multicast) IPv6** : est utilisée pour envoyer un seul paquet IPv6 vers plusieurs destinations.
- **Adresse de anycast** : une adresse anycast IPv6 est une adresse de monodiffusion IPv6 qui peut être attribuée à plusieurs périphériques. Un paquet envoyé à une adresse anycast est acheminé vers le périphérique le plus proche ayant cette adresse. Les adresses anycast sortent du cadre de ce cours.

Remarque

l'IPv6 n'a pas d'adresse de **diffusion**. Cependant, il existe une adresse de **multidiffusion** destinée à tous les nœuds IPv6 et qui offre globalement les mêmes résultats.

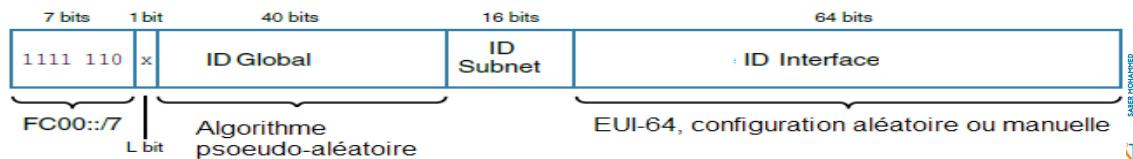
Unicat @IPv6

- Une adresse de monodiffusion IPv6 identifie une interface sur un périphérique IPv6 de façon unique.
- Un paquet envoyé à une adresse de monodiffusion est reçu par l'interface correspondant à cette adresse.
- Comme c'est le cas avec l'IPv4, une adresse source IPv6 doit être une adresse de monodiffusion.
- L'adresse IPv6 de destination peut, quant à elle, être une adresse de monodiffusion ou de multidiffusion.
- Il existe six types d'adresse de monodiffusion IPv6.



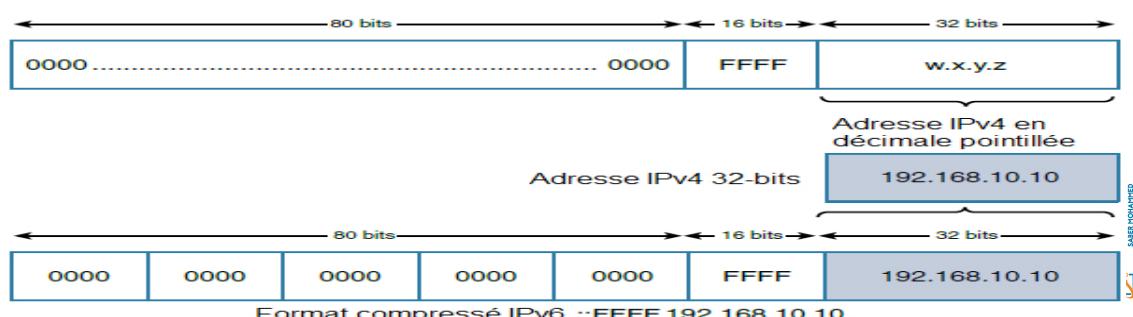
Les types d'adresses de monodiffusion IPv6 :

- **Adresse de monodiffusion globale (Global Unicast Address (GUA))** : est similaire à une adresse IPv4 publique. Ces adresses sont uniques au monde et routables sur Internet. Les adresses de monodiffusion globale peuvent être configurées de manière statique ou attribuées de manière dynamique.
- **Adresse de monodiffusion link-local (Link-local Address (LLA))** : est utilisée pour communiquer avec d'autres périphériques sur la même liaison locale. Les adresses link-local sont confinées à une seule liaison. Leur caractère unique doit être confirmé uniquement sur cette liaison, car elles ne sont pas routables au-delà de la liaison.
- **Adresse locale unique (Unique local addresses : ULA)** : Les adresses IPv6 locales uniques ont certains points communs avec les adresses RFC 1918 privées pour l'IPv4, mais ces deux types d'adresse diffèrent également sur certains points. Des adresses locales uniques sont utilisées pour l'adressage local au sein d'un site ou entre un nombre limité de sites. Ces adresses ne doivent pas être routables sur le réseau IPv6 global. Les adresses locales uniques sont comprises entre **FC00 ::/7** et **FDFF ::/7**.

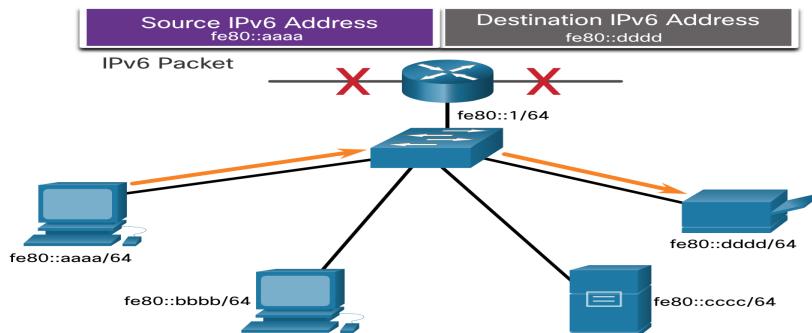


Les types d'adresses de monodiffusion IPv6 (suite) :

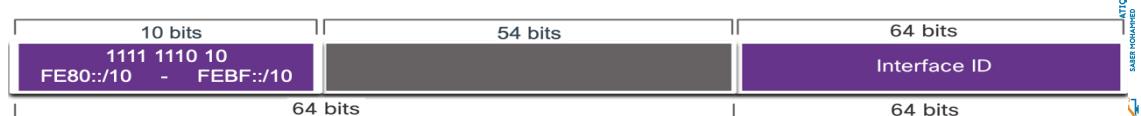
- **Adresse de bouclage (Loopback)** : est utilisée par un hôte pour envoyer un paquet à lui-même. Cette adresse ne peut pas être attribuée à une interface physique. Tout comme avec une adresse de bouclage IPv4 (127.0.0.0/8), vous pouvez envoyer une requête ping à une adresse de bouclage IPv6 pour tester la configuration TCP/IP de l'hôte local. L'adresse de bouclage IPv6 contient uniquement des 0, excepté le dernier bit. Elle est donc notée :1/128, ou simplement ::1 au format compressé.
- **Adresse non spécifiée (Unspecified Address)** : est une adresse contenant uniquement des 0 et notée ::128 ou simplement :: au format compressé. Elle ne peut pas être attribuée à une interface et ne peut être utilisée que comme adresse source dans un paquet IPv6.
- **IPv4 intégré (IPv4 Embedded Address)** : Ces adresses sont utilisées pour faciliter la transition de l'IPv4 vers l'IPv6. Les adresses IPv4 intégrées sortent du cadre de ce cours.



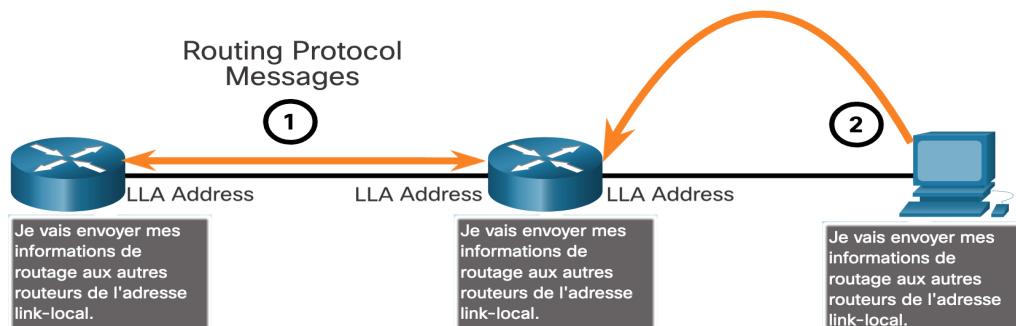
- Une adresse link-local IPv6 permet à un périphérique de communiquer avec d'autres périphériques IPv6 sur la même liaison (même réseau) et uniquement sur cette liaison (sous-réseau).
- Les paquets associés à une adresse source ou de destination link-local ne peuvent pas être acheminés au-delà de leur liaison d'origine.



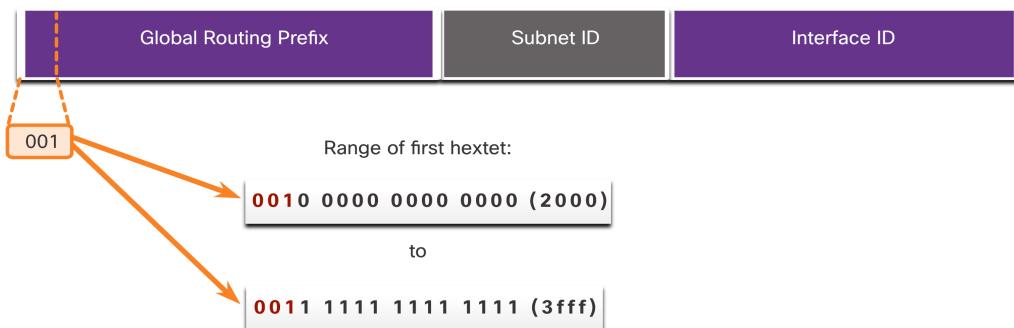
- Les adresses link-local IPv6 se trouvent dans la plage **FE80 : /10**. Indique que les 10 premiers bits sont **1111 1110 10xx xxxx**. Le premier hextet dispose d'une plage comprise entre **1111 1110 1000 0000 (FE80)** et **1111 1110 1011 1111 (FEBF)**.



- Si une adresse link-local n'est pas configurée manuellement sur une interface, le périphérique crée automatiquement sa propre adresse sans communiquer avec un serveur DHCP.
- Les hôtes IPv6 créent une adresse link-local IPv6 même si aucune adresse de monodiffusion globale IPv6 n'a été attribuée aux périphériques.
- Cela permet aux périphériques IPv6 de communiquer avec d'autres périphériques IPv6 sur le même sous-réseau. Cela inclut la communication avec la passerelle par défaut (routeur).



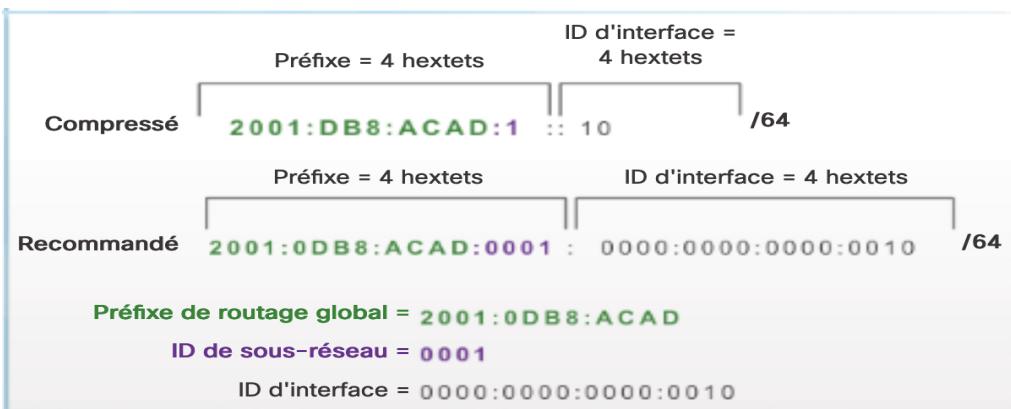
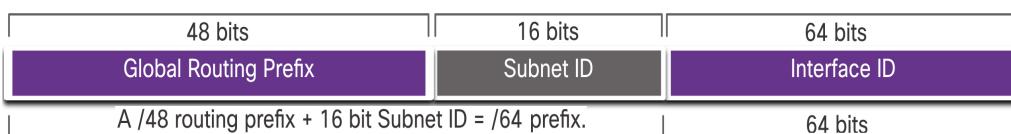
- Les adresses de monodiffusion globale (GUA) IPv6 sont uniques au monde et routables (Internet IPv6). Ces adresses sont équivalentes aux adresses publiques IPv4.
- L'ICANN (Internet Committee for Assigned Names and Numbers), opérateur de l'IANA, attribue des blocs d'adresses IPv6 aux cinq organismes d'enregistrement Internet locaux.
- Actuellement, seules des adresses de monodiffusion globale dont les trois premiers bits sont **001** ou **2000 : /3** sont attribuées.



- En d'autres termes, le premier chiffre hexadécimal d'une adresse de monodiffusion globale (GUA) commence par **2** ou par **3**.

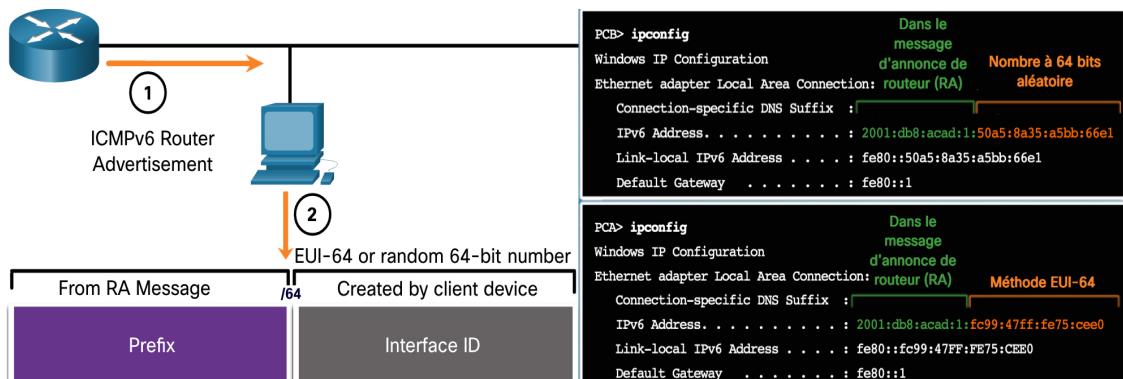
La structure d'une adresse de monodiffusion globale IPv6

- Une adresse de monodiffusion globale se compose de trois parties :
 - Préfixe de routage global (NetID)** : a un préfixe /48 indiquant que les 48 premiers bits (3 hextets) (2001 :0DB8 :ACAD) constituent le préfixe ou la partie réseau de l'adresse.
 - ID de sous-réseau (SubnetID)** : est utilisé par une entreprise pour identifier les sous-réseaux au sein de son site.
 - ID d'interface (HostID)** : est l'équivalent de la partie hôte d'une adresse IPv4.



Identifiant d'interface : Méthode EUI-64 et génération aléatoire

- Dans une configuration automatique d'une adresse IPv6 pour un hôte, le hôte va obtenir la partie préfixe de l'adresse, mais il doit créer son ID d'interface.
- Le hôte doit générer lui-même son ID d'interface, pour cela, il peut utiliser la **méthode EUI-64** ou **un nombre à 64 bits générée aléatoirement**.



- Une fois l'ID d'interface créé via la méthode EUI-64 ou aléatoirement, il peut être combiné avec un préfixe IPv6 dans le message d'annonce de routeur pour créer une adresse de monodiffusion globale.

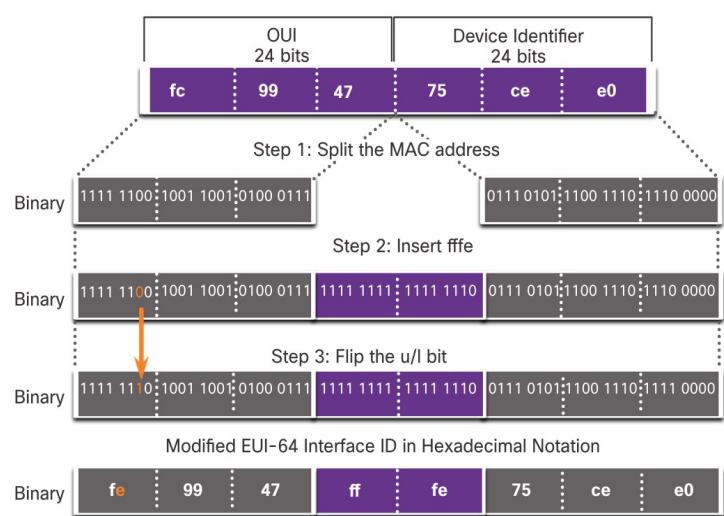
ID d'interface générés aléatoirement

Selon le système d'exploitation, un périphérique peut utiliser un ID d'interface généré aléatoirement.

Identifiant d'interface : Méthode EUI-64

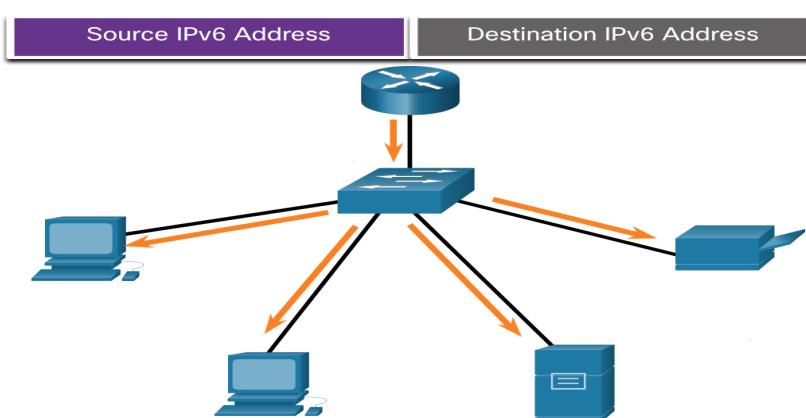
- L'IEEE a défini l'identifiant unique étendu (EUI), ou format EUI-64 modifié.
- Ce processus utilise l'adresse MAC Ethernet à 48 bits d'un client et insère 16 autres bits au milieu de cette adresse MAC pour créer un ID d'interface de 64 bits.
- Le processus EUI-64 est :

- Étape 1** : Coupez l'adresse MAC au niveau de la séparation entre l'**OUI** et l'**ID de périphérique**.
- Étape 2** : Insérez la valeur hexadécimale **FFFE**, à savoir **1111 1111 1111 1110** en binaire.
- Étape 3** : Convertissez les 2 premières valeurs hexadécimales de l'**OUI** en binaire et inversez le bit U/L (bit 7). Dans cet exemple, le 0 du bit 7 devient un 1.

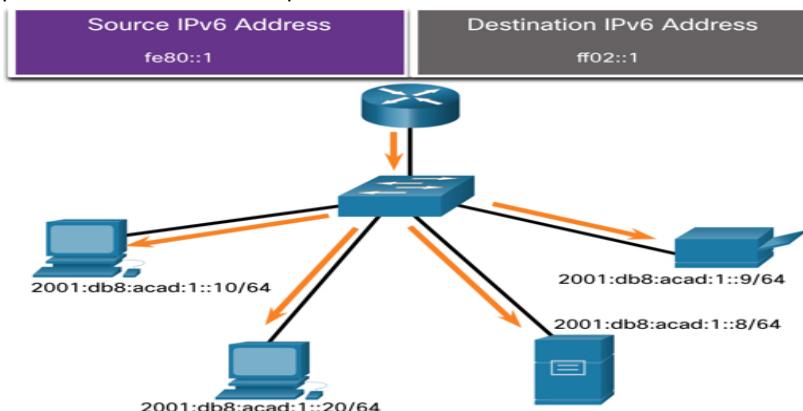


Multicast @IPv6

- Une adresse de multidiffusion IPv6 est semblable l'adresse de multidiffusion IPv4.
- Une adresse de multidiffusion est utilisée par une source pour envoyer un paquet à un ou plusieurs destinataires (groupe de multidiffusion) simultanément.
- Les adresses de multidiffusion IPv6 ont le préfixe **FF00 ::/8**.
- Il existe deux types d'adresses de multidiffusion IPv6 : Les adresses de multidiffusion attribuées (assignées) et les adresses de multidiffusion de nœud sollicité.

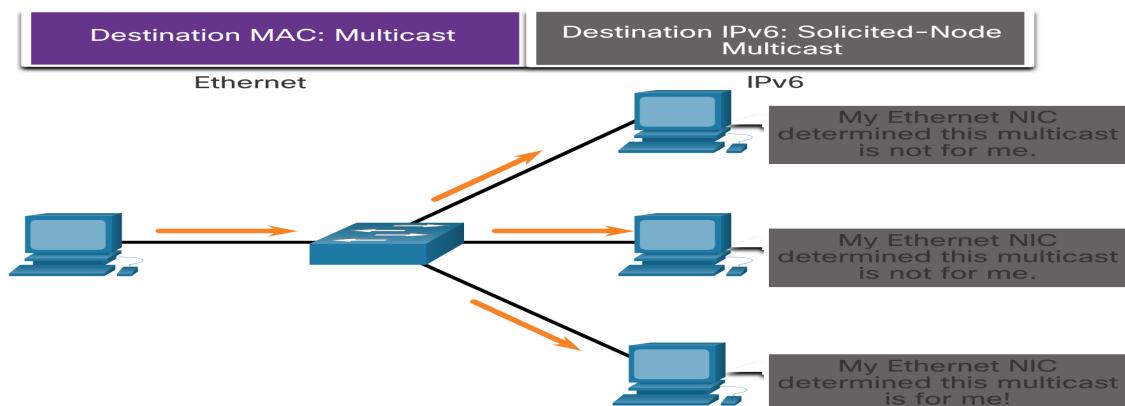


- Les adresses de multidiffusion attribuées sont des adresses de multidiffusion réservées à des groupes ou périphériques prédéfinis.
- Une adresse de multidiffusion attribuée est une adresse unique utilisée pour joindre un groupe de périphériques exécutant un service ou un protocole commun.
- Les adresses de multidiffusion attribuées sont utilisées avec des protocoles spécifiques, tels que DHCPv6.
- Les deux groupes suivants de multidiffusion IPv6 attribuée sont les plus courants :
 - Groupe de multidiffusion vers tous les nœuds FF02 : :1** : Un paquet envoyé à ce groupe est reçu et traité par toutes les interfaces IPv6 situées sur la liaison ou le réseau. Cette opération a le même effet qu'une adresse de diffusion IPv4.



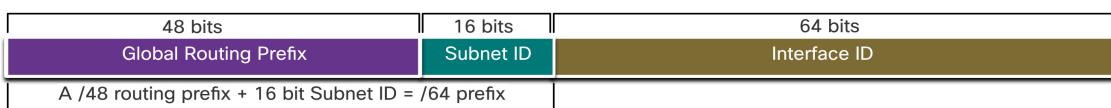
- Groupe de multidiffusion vers tous les routeurs FF02 : :2** : Un paquet envoyé à ce groupe est reçu et traité par tous les routeurs IPv6 situés sur la liaison ou le réseau.

- Une adresse de multidiffusion de nœud sollicité est semblable à une adresse de multidiffusion à tous les nœuds.
- Tous les périphériques du réseau doivent traiter le trafic envoyé à l'adresse de multidiffusion à tous les nœuds.
- Pour réduire le nombre de périphériques qui doivent gérer le trafic, utilisez une adresse de multidiffusion de nœud sollicité.
- Elle offre l'avantage d'être mappée à une adresse de multidiffusion Ethernet spécifique.
- Cela permet à la carte réseau Ethernet de filtrer la trame en examinant l'adresse MAC de destination sans l'envoyer au processus IPv6 pour voir si le périphérique est la cible prévue du paquet IPv6.



Segmentation @IPv6

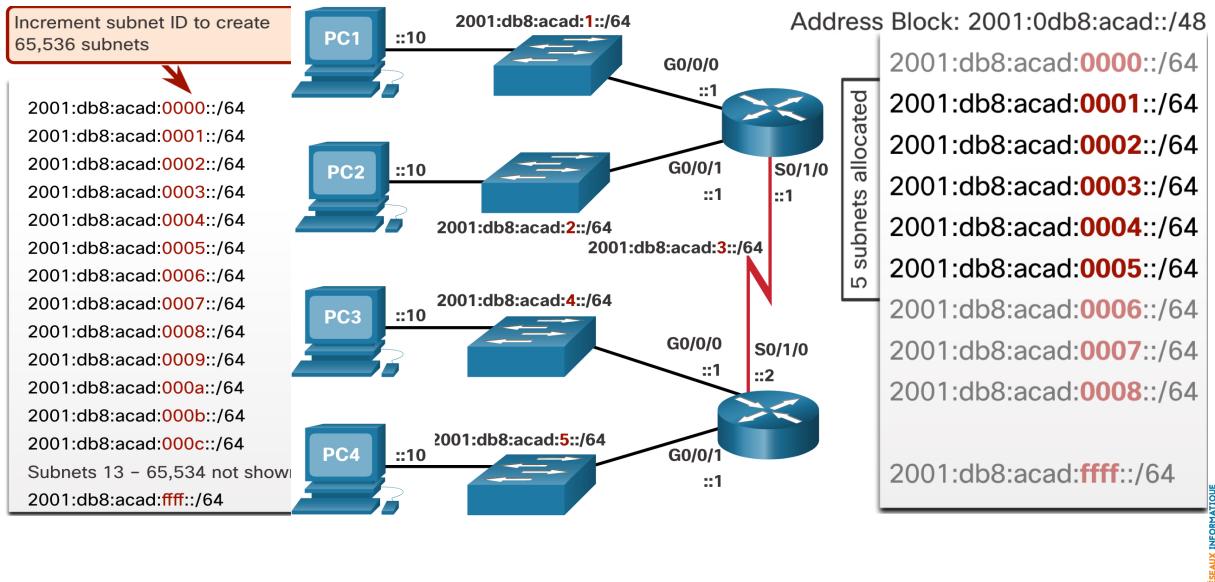
- La segmentation en sous-réseaux IPv6 exige une approche différente de celle des sous-réseaux IPv4.
- La segmentation en sous-réseaux IPv4 n'a pas pour seul but de limiter les domaines de diffusion, mais également de gérer la pénurie d'adresses. Le masque de sous-réseau et les VLSM sont utilisés pour préserver les adresses IPv4.
- Cependant, en raison du grand nombre d'adresses IPv6, la segmentation en sous-réseaux IPv6 n'a rien à voir avec la préservation de l'espace d'adresses.
- Le schéma d'adresse IPv6 peut se concentrer sur la meilleure approche hiérarchique afin de gérer et d'attribuer les sous-réseaux IPv6.
- La structure d'une adresse de monodiffusion globale IPv6 :



- L'ID de sous-réseau comprend plus de sous-réseaux que nécessaire :

- Créer jusqu'à $2^{16} = 65\,536$ sous-réseaux /64, sans même avoir à emprunter des bits à l'ID d'interface de l'adresse.
- Prendre en charge jusqu'à 2^{64} d'adresses IPv6 d'hôte par sous-réseau.

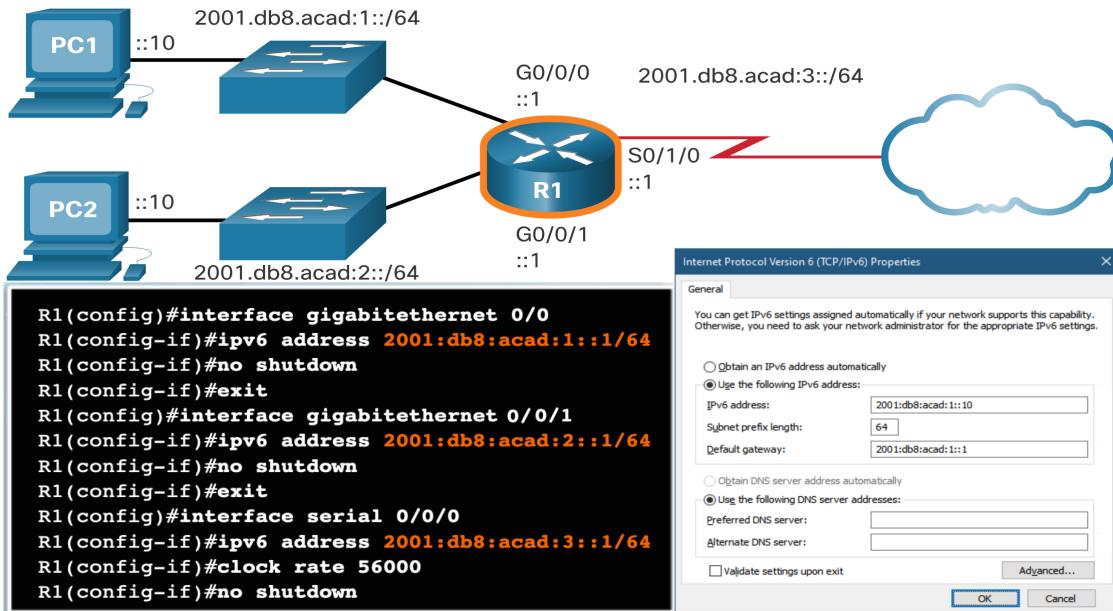
La segmentation en sous-réseaux IPv6 consiste à créer une hiérarchie d'adressage (attribution de sous-réseaux IPv6) reposant sur le nombre de sous-réseaux requis.



Configuration @IPv6

Configuration des interfaces d'un routeur

La commande permettant de configurer une adresse de monodiffusion globale (GUA) sur une interface est `ipv6 address adresseIPv6/longueurdupréfixe`.



Bilan @IPv6

