

Segmentation des réseaux IP en sous-réseaux

Équipe Pédagogique Réseau Informatique @
UVCI 2018

Table des matières



I - Objectifs	3
II - Introduction	4
III - Définition des plages d'adresses d'un réseau local	5
1. Nombre d'adresses IP dans un réseau	5
1.1. Principe de détermination des adresses IPv4 dans un réseau	5
1.2. Attribution de l'adresse IP d'un hôte	5
2. Exercice	7
IV - Détermination des adresses de sous-réseau	8
1. Nombre de bits à emprunter à la partie hôte sachant le nombre de sous-réseaux	8
2. Nombre de bits à emprunter à la partie hôte sachant le nombre d'hôtes par sous-réseaux	9
3. Principe de détermination des sous-réseaux et leur masque	9
4. Exercice	10
V - Détermination des adresses de sous-réseau avec masque variable	11
1. Inefficacité de la segmentation traditionnelle en sous-réseaux	11
2. Masque de sous-réseaux de longueur variable	12
2.1. Intérêt du VLSM	12
2.2. Détermination de masque de sous-réseaux appropriés	12
2.3. Planifier la mise en œuvre du réseau	13
3. Exercice	14
VI - Conclusion	15
VII - Solutions des exercices	16
VIII - Bibliographie	17



Objectifs

A la fin de cette leçon, vous serez capable de :

- *Expliquer* le principe de création et d'attribution des adresses IP des périphériques des réseaux et sous-réseaux.
- *Expliquer* le principe de création et d'attribution des adresses IP de sous-réseaux à masques fixes.
- *Expliquer* le principe de création et d'attribution des adresses IP de sous-réseaux à masques variables.

Introduction



L'élaboration, la mise en œuvre et la gestion d'un modèle d'adressage IP efficace garantissent le fonctionnement optimal des réseaux. Cela est d'autant plus nécessaire que le nombre de connexions d'hôtes à un réseau augmente. Lorsque vous aurez compris la structure hiérarchique de l'adresse IP et que vous saurez comment modifier cette hiérarchie pour répondre plus efficacement aux besoins de routage, vous aurez déjà accompli une part essentielle de la planification du schéma d'adressage IP.

Le fait de sous-diviser un réseau permet d'ajouter un niveau hiérarchique pour obtenir trois niveaux qui sont un réseau, un sous-réseau et un hôte. Le fait d'ajouter un niveau hiérarchique permet de créer des sous-groupes supplémentaires dans un réseau IP, qui facilitent l'acheminement rapide des paquets et le filtrage efficace en réduisant le trafic « local ».



Définition des plages d'adresses d'un réseau local



Objectifs

- *Expliquer* le principe de création et d'attribution des adresses IP des périphériques des réseaux et sous-réseaux.

Le plan d'adressage dans la mise en œuvre d'un réseau local est l'élément centrale. Un mauvais plan d'adressage conduit à un dysfonctionnement total du réseau.

1. Nombre d'adresses IP dans un réseau

Pour déterminer le nombre d'adresse IP, il faut tout d'abord connaître l'adresse réseau. L'adresse réseau est constituée d'une adresse IP et d'un masque. Supposons qu'on dispose d'un réseau d'adresse 192.168.20.0/24, combien d'adresses IP peut-on avoir pour les différents périphériques de ce réseau ?

1.1. Principe de détermination des adresses IPv4 dans un réseau

Lorsqu'on prend l'adresse réseau 192.168.20.0/24, on remarque que :

- la partie réseau est constituée des 24 premiers bits de poids fort (192.168.20) et
- la partie hôte (machine) est constituée de huit (8) bits de poids faible (0).

Lorsqu'on dispose du nombre de bits destinés à la partie machine (n), pour déterminer le nombre d'hôtes possibles qui peuvent être pris en charge, on utilise la formule suivante :

$$2^n \quad \text{avec } n \text{ le nombre de bits destinés à la partie machine}$$

Pour notre exemple, on dispose de $2^8 = 256$ adresses IP.

Cependant, l'adresse réseau (la première adresse) et l'adresse de diffusion (la dernière adresse) sont deux adresses qui ne peuvent pas être attribuées à un hôte. De ce fait, le nombre d'adresses IP réelles pris en charge est déterminé par la formule suivante :

$$2^n - 2$$

Pour notre exemple, on dispose de $2^8 - 2 = 256 - 2 = 254$ adresses IP qui peuvent être attribuées aux hôtes. Lorsqu'on dispose du nombre d'adresses IP, on peut alors déterminer la plage d'adresse destinée aux périphériques du réseau.

1.2. Attribution de l'adresse IP d'un hôte

Pour attribuer une adresse IP à un hôte, il faut tout d'abord déterminer la plage d'adresse pour le réseau. Supposons qu'on dispose de l'adresse réseau 192.168.20.192/28 et déterminons la plage d'adresse pour ce réseau.

On dispose donc de quatre (4) bits pour la partie machine, ce qui donne $2^4 = 16$ adresses IP.

Comment procéder pour obtenir les 16 adresses IP ?

Pour y arriver, il faut d'abord faire la table de vérité en tenant compte des quatre (4) bits destinés à la partie machine (les 4 bits de poids faible) comme suit :

1	2	3	4	5	6	7	8	Valeur décimale
1	1	0	0	0	0	0	0	192
1	1	0	0	0	0	0	1	193
1	1	0	0	0	0	1	0	194
1	1	0	0	0	0	1	1	195
1	1	0	0	0	1	0	0	196
1	1	0	0	0	1	0	1	197
1	1	0	0	0	1	1	0	198
1	1	0	0	0	1	1	1	199
1	1	0	0	1	0	0	0	200
1	1	0	0	1	0	0	1	201
1	1	0	0	1	0	1	0	202
1	1	0	0	1	0	1	1	203
1	1	0	0	1	1	0	0	204
1	1	0	0	1	1	0	1	205
1	1	0	0	1	1	1	0	206
1	1	0	0	1	1	1	1	207

A partir de cette table, on peut alors définir la plage d'adresse comme suit :

1 ^{er} octet	2 ^{ème} octets	3 ^{ème} octets	4 ^{ème} octets
192.	168.	20.	192
192.	168.	20.	193
192.	168.	20.	194
192.	168.	20.	195
192.	168.	20.	196
192.	168.	20.	197
192.	168.	20.	198
192.	168.	20.	199
192.	168.	20.	200
192.	168.	20.	201
192.	168.	20.	202
192.	168.	20.	203
192.	168.	20.	204
192.	168.	20.	205
192.	168.	20.	206
192.	168.	20.	207

L'adresse IP 192.168.20.192 est l'adresse réseau donc elle ne peut pas être attribuée à un hôte ainsi que l'adresse IP 192.168.20.207 qui est l'adresse de diffusion. Donc la plage d'adresse qui peut être allouée à un hôte part de 192.168.20.193 à 192.168.20.206.

2. Exercice

[Solution n°1 p 16]

Soit un réseau local d'adresse IP 192.168.10.0/28

1. Le nombre d'adresses IP disponibles pour ce réseau est de .
2. Le nombre d'adresses IP utilisables est .
3. La plage d'adresse à attribuer aux périphériques finaux est :
192.168.. à 192.168...
4. L'adresse de diffusion est 192.168...

Détermination des adresses de sous-réseau



Objectifs

- *Expliquer* le principe de création et d'attribution des adresses IP de sous-réseaux à masques fixes.

La segmentation en sous-réseaux réduit le trafic global et améliore les performances réseau. Elle permet également aux administrateurs de mettre en œuvre des politiques de sécurité, notamment pour définir si les différents sous-réseaux sont autorisés ou non à communiquer entre eux.

Il existe plusieurs manières d'utiliser les sous-réseaux pour gérer les périphériques réseau. Les administrateurs réseau peuvent regrouper les périphériques et les services en sous-réseaux en fonction de critères tels que :

- L'emplacement, par exemple l'étage d'un bâtiment
- L'entité de l'entreprise
- Le type de périphérique
- Toute autre segmentation logique pour le réseau

1. Nombre de bits à emprunter à la partie hôte sachant le nombre de sous-réseaux

Un réseau initial peut être segmenté (découpé) en plusieurs sous-réseaux. Cependant, la segmentation est liée au nombre de sous-réseau à mettre en place. Or le nombre de sous-réseau est déterminé en empruntant un certain nombre de bits (n) à l'ensemble des bits de la partie hôte de l'adresse réseau initiale. Ce qui revient à déterminer n sachant que le nombre de sous-réseaux N doit respecter la contrainte suivante :

$$N \leq 2^n$$

avec n , le nombre de bits à emprunter à la partie hôte pour avoir les N sous-réseaux.

Ainsi le nombre de bits à emprunter à la partie hôte peut être déterminé à partir de l'expression suivante :

$$n \geq \frac{\ln N}{\ln 2}$$

Supposons qu'on dispose d'une adresse réseau 192.168.30.0/24 et l'on veut segmenter ce réseau en 7 sous-réseaux. Le nombre de bits à emprunter à la partie hôte est : $n \geq \frac{\ln 7}{\ln 2} = 2,8$

Comme n est un nombre entier naturel compris entre 1 et 8 alors on est obligé de prendre l'entier supérieur à 2,80 donc $n = 3$ afin d'obtenir au moins les sept (7) sous-réseaux demandés. Si l'on prenait l'entier inférieur c'est-à-dire 2, on aurait obtenu quatre (4) sous-réseaux, ce qui ne permettait pas d'obtenir les sept (7) sous-réseaux exigés.

De ce fait, le nombre de bits permettant de déterminer le nombre de sous-réseaux est déterminé par l'expression

$$n = \left\lceil \frac{\ln N}{\ln 2} \right\rceil$$



Complément : Fonction partie entière par excès

La fonction $\lceil x \rceil$ est appelée *partie entière par excès* de x . Elle est définie par :

$$\lceil x \rceil = \min \{n \in \mathbb{Z} \mid n \geq x\}$$

D'autres formules équivalentes peuvent être utilisées pour simplifier cette définition :

$$\lceil x \rceil = n \Leftrightarrow n - 1 < x \leq n \Leftrightarrow x \leq n < x + 1$$

Exemple : $\left\lceil \frac{\ln 7}{\ln 2} \right\rceil = \lceil 2,8 \rceil = 3$

2. Nombre de bits à emprunter à la partie hôte sachant le nombre d'hôtes par sous-réseaux

Pour déterminer le nombre de bits (n) à emprunter à la partie hôte (h) sachant le nombre d'hôtes par sous-réseaux (H), il faut tout d'abord déterminer le nombre de bits (b) permettant d'obtenir H en utilisant l'expression ci-dessous :

$$2^b - 2 = H \Rightarrow 2^b = H + 2 \text{ donc } b = \frac{\ln(H + 2)}{\ln 2}$$

Ensuite, l'on pourra déterminer le nombre de bits (n) à emprunter à la partie hôte en utilisant l'expression suivante :

$$n = h - b$$

3. Principe de détermination des sous-réseaux et leur masque

Lorsque le nombre de bits (n) permettant de déterminer les sous-réseaux sont connus, l'on utilise le principe des tables de vérité sur les n bits de poids fort de la partie hôte pour déterminer l'ensemble 2^n lignes correspondantes qui permettront de déterminer les adresses IP des sous-réseaux.

Le masque de sous-réseau est obtenu en augmentant le préfixe de n bits.

Supposons qu'on dispose d'un réseau 192.168.20.0/24 et qu'on désire le segmenter en huit (8) sous-réseaux. Cela nécessite qu'on emprunte trois (3) bits sur les huit (8) bits de la partie hôte car $8=2^3$.

1	2	3	4	5	6	7	8	Valeur décimale
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	32
0	1	0	0	0	0	0	0	64
0	1	1	0	0	0	0	0	96
1	0	0	0	0	0	0	0	128
1	0	1	0	0	0	0	0	160
1	1	0	0	0	0	0	0	192
1	1	1	0	0	0	0	0	224

Lorsque trois bits ont été empruntés à la partie hôte, le nombre de bits disponibles à la partie hôte est de : $8 - 3 = 5$. C'est avec ces cinq (5) bits que l'on déterminera les adresses IP à attribuer à chaque hôte des sous-réseaux. La détermination des adresses IP des hôtes de chaque sous-réseaux suit le même principe qu'en I.1.2.

A partir de cette table, on peut alors définir les adresses des huit (8) sous-réseaux comme suit :

1 ^{er} octet	2 ^{ème} octets	3 ^{ème} octets	4 ^{ème} octets
192.	168.	20.	0
192.	168.	20.	32
192.	168.	20.	64
192.	168.	20.	96
192.	168.	20.	128
192.	168.	20.	160
192.	168.	20.	192
192.	168.	20.	224

Le masque de ces sous-réseaux est /27 ou 255.255.255.224 puisqu'on ajoute les trois bits empruntés aux 24 bits du réseau initial ($24 + 3 = 27$).

Remarque

Tous les sous-réseaux déterminés ont le même masque de sous-réseau. Cependant dans d'autres circonstances, le masque de sous-réseau peut changer d'un sous-réseau à un autre d'où la notion de masque de sous-réseau variable.

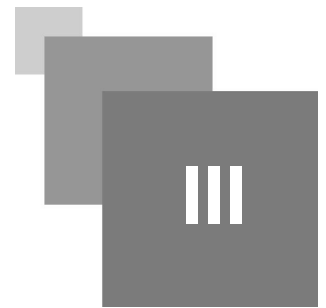
4. Exercice

[Solution n°2 p 16]

Soit un réseau local d'adresse IP 192.168.10.0/26. l'on souhaite subdiviser ce réseau en quatre (4) sous-réseaux.

1. Le nombre de bit à emprunter à la partie hôte pour déterminer les sous-réseau est .
2. Le premier sous-réseau a pour adresse réseau 192.168../.
3. Le deuxième sous-réseau a pour adresse réseau 192.168../.
4. Le troisième sous-réseau a pour adresse réseau 192.168../.
5. Le quatrième sous-réseau a pour adresse réseau 192.168../.
6. Le nombre de bit permettant d'adresser les hôtes de chaque sous-réseau est .

Détermination des adresses de sous-réseau avec masque variable



Objectifs

- Expliquer le principe de création et d'attribution des adresses IP de sous-réseaux à masques variables.

1. Inefficacité de la segmentation traditionnelle en sous-réseaux

Avec la méthode classique de segmentation en sous-réseaux, le même nombre d'adresses est attribué à chaque sous-réseau. Si tous les sous-réseaux ont besoin d'un même nombre d'hôtes, l'utilisation de blocs d'adresses de taille fixe est intéressante. Mais, bien souvent, ce n'est pas le cas.

Par exemple, la topologie représentée à la figure 1 nécessite sept sous-réseaux, un pour chacun des quatre réseaux locaux et un autre pour chacune des trois connexions de réseau étendu entre les routeurs.

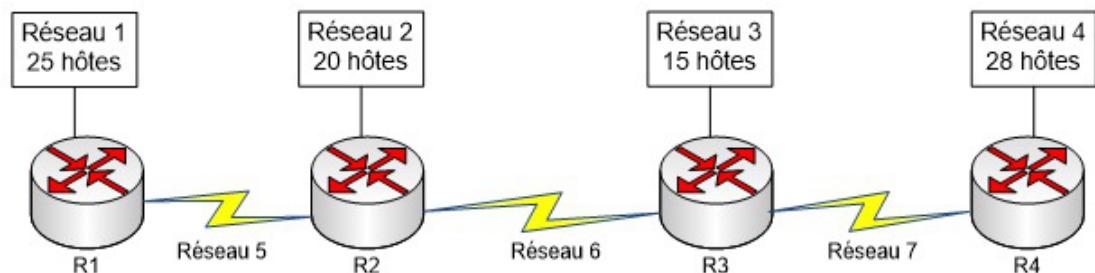


Figure 1 : Sous-réseaux à masques variables

Si l'on utilise la méthode classique de segmentation en sous-réseaux pour l'adresse 192.168.20.0/24, 3 bits peuvent être empruntés au dernier octet de la partie hôte pour obtenir les sept sous-réseaux requis.

En empruntant 3 bits, on obtient 8 sous-réseaux et on laisse 5 bits d'hôte avec 30 hôtes utilisables par sous-réseau avec un masque /27. Ce schéma permet de créer les sous-réseaux nécessaires et de répondre aux besoins en hôtes du plus grand réseau local.

Bien que cette méthode classique satisfasse aux besoins du plus grand réseau local (réseau 4) et divise l'espace d'adressage en un nombre approprié de sous-réseaux, de nombreuses adresses sont inutilisées. Ici le sous-réseau 8 n'est pas utilisé.

Par exemple, seules deux adresses sont nécessaires dans chaque sous-réseau des trois liaisons de réseau étendu (réseaux 5, 6 et 7). Puisque chaque sous-réseau possède 30 adresses utilisables, 28

adresses sont inutilisées dans chacun de ces sous-réseaux. Ce sont au total 84 adresses qui sont inutilisées (28 x 3). Donc attribuer une adresse /27 aux sous-réseaux WAN n'est pas approprié.

11000000.10101000.00010100	.000	00000	192.168.20.0/27	Réseau 1
11000000.10101000.00010100	.001	00000	192.168.20.32/27	Réseau 2
11000000.10101000.00010100	.010	00000	192.168.20.64/27	Réseau 3
11000000.10101000.00010100	.011	00000	192.168.20.96/27	Réseau 4
11000000.10101000.00010100	.100	00000	192.168.20.128/27	Réseau 5
11000000.10101000.00010100	.101	00000	192.168.20.160/27	Réseau 6
11000000.10101000.00010100	.110	00000	192.168.20.192/27	Réseau 7
11000000.10101000.00010100	.111	00000	192.168.20.224/27	

Figure 2 : Sous-réseaux à masques fixes

2. Masque de sous-réseaux de longueur variable

2.1. Intérêt du VLSM

Dans tous les exemples précédents de segmentation, vous constatez que le même masque de sous-réseau a été appliqué à tous les sous-réseaux. Cela signifie que chaque sous-réseau possède le même nombre d'adresses d'hôte disponibles. La méthode classique de segmentation crée des sous-réseaux de même taille. Chaque sous-réseau d'un schéma classique utilise le même masque de sous-réseau.

La création de sous-réseaux VLSM (Variable Length Subnet Masks) est similaire à la création de sous-réseaux classiques, car des bits sont empruntés pour créer des sous-réseaux. Les formules de calcul du nombre d'hôtes par sous-réseau et du nombre de sous-réseaux créés s'appliquent également.

La segmentation des sous-réseaux, qui revient à utiliser le masquage de sous-réseau de longueur variable (VLSM : Variable Length Subnet Masks) permet d'optimiser l'efficacité de l'adressage.

2.2. Détermination de masque de sous-réseaux appropriés

Le schéma de segmentation VLSM permet de réduire suffisamment le nombre d'adresses par sous-réseau pour les liaisons WAN. Le fait de segmenter le sous-réseau n°8 pour les réseaux étendus permet de conserver les sous-réseaux n° 5, 6, et 7 pour les futurs réseaux, mais également 5 sous-réseaux supplémentaires disponibles pour les réseaux étendus.

Étant donné que l'espace d'adresses segmenté 192.168.20.224/27 comporte 5 bits d'hôte, 3 bits supplémentaires peuvent être empruntés, ce qui laisse 2 bits dans la partie hôte, comme le montre la figure 3. Jusque-là, les calculs sont exactement les mêmes que pour la méthode classique. Il faut emprunter des bits et déterminer les plages des sous-réseaux.

Partie réseau	Partie hôte	Décimale à point
11000000.10101000.00010100	.111 00000	192.168.20.224/27

Parmi les 5 bites réservés à la partie hôte, lorsqu'on emprunte 3 bits, il reste deux (02) bits permettant d'obtenir quatre (04) adresses IP suffisant pour huit (08) sous-réseaux correspondant aux réseaux étendus.

11000000.10101000.00010100	.111000	00	192.168.20.224/30	Réseau 5
11000000.10101000.00010100	.111001	00	192.168.20.228/30	Réseau 6
11000000.10101000.00010100	.111010	00	192.168.20.232/30	Réseau 7
11000000.10101000.00010100	.111011	00	192.168.20.236/30	Disponible
11000000.10101000.00010100	.111100	00	192.168.20.240/30	Disponible
11000000.10101000.00010100	.111101	00	192.168.20.244/30	Disponible
11000000.10101000.00010100	.111110	00	192.168.20.248/30	Disponible

Figure 3 : Adresses réseaux des réseaux étendus



Remarque

Lorsque vous utilisez la méthode VLSM, commencez toujours par répondre aux besoins en hôtes du plus grand sous-réseau. Poursuivez la segmentation jusqu'à ce que les besoins en hôtes du plus petit sous-réseau soient satisfaits. Ainsi le principe du découpage hiérarchique de l'espace d'adressage est respecté.

2.3. Planifier la mise en œuvre du réseau

La planification des sous-réseaux nécessite d'étudier les besoins de l'entreprise en termes d'utilisation du réseau et la structure appropriée des sous-réseaux.

L'étude des besoins réseau constitue le point de départ. Cela revient à examiner l'ensemble du réseau et à déterminer les principales divisions du réseau et leur segmentation. Pour dresser le plan d'adressage, il convient de définir les besoins de chaque sous-réseau concernant les critères suivants :

- taille,
- nombre d'hôtes par sous-réseau,
- méthode d'attribution des adresses d'hôte,
- hôtes nécessitant des adresses IPv4 statiques et
- hôtes pouvant utiliser le protocole DHCP pour obtenir leurs informations d'adressage.

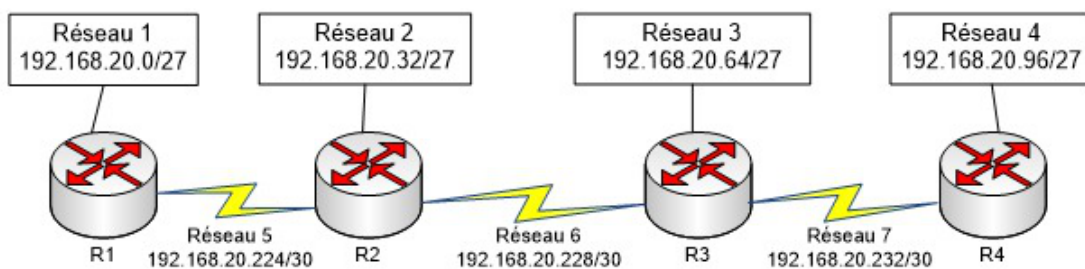


Figure 4 : Adresses d'hôtes valides

La taille du sous-réseau nécessite de prévoir le nombre d'hôtes qui auront besoin d'adresses d'hôte IPv4 dans chaque sous-réseau du réseau privé subdivisé.

Avec les sous-réseaux VLSM, les segments LAN et WAN peuvent être adressés sans perte inutile.

Comme le montre la figure 4, les hôtes de chaque réseau local obtiennent une adresse d'hôte valide avec la plage de ce sous-réseau et le masque /27. L'interface de réseau local de chacun des quatre routeurs obtient un sous-réseau /27 et une ou plusieurs interfaces série obtiennent un sous-réseau /30.

3. Exercice

[Solution n°3 p 16]

Une entreprise dispose d'une adresse réseau 192.168.30.0/24 et elle souhaite subdiviser son réseau en quatre (4) sous-réseaux A, B, C et D de tailles différentes.

- 45 hôtes pour le sous-réseau A,
- 25 hôtes pour le sous-réseau B,
- 13 hôtes pour le sous-réseau C et
- 10 hôtes pour le sous-réseau D.

Attribuer les premières adresses susceptibles d'être affecter aux sous-réseaux par contre utiliser les dernières adresses susceptibles d'un sous-réseau pour déterminer les adresses réseau des autres sous-réseaux le cas échéant tout en respectant le principe du découpage hiérarchique.

1. Les adresses de sous-réseaux susceptibles d'adresser les hôtes du sous-réseau A sont :
 - 192.168.30. / ;
 - 192.168.30. / ;
 - 192.168.30. / ;
 - 192.168.30. / .
2. Les adresses de sous-réseaux susceptibles d'adresser les hôtes du sous-réseau B sont :
 - 192.168.30. / ;
 - 192.168.30. / .
3. L'adresse de sous-réseau susceptible d'adresser les hôtes du sous-réseau C est :
192.168.30. / .
4. L'adresse de sous-réseau susceptible d'adresser les hôtes du sous-réseau D est :
192.168.30. / .

Conclusion



La mise en œuvre d'un réseau informatique passe nécessairement par la mise en œuvre d'un plan d'adressage adéquate. Cette leçon a permis d'avoir la capacité de déterminer les adresses IP des hôtes d'un réseau ainsi que les adresses de sous-réseaux à masque fixe et à masque variable.

Solutions des exercices

> Solution n° 1

Exercice p. 7

1. Le nombre d'adresses IP disponibles pour ce réseau est de 16.
2. Le nombre d'adresses IP utilisables est 14.
3. La plage d'adresse à attribuer aux périphériques finaux est :
192.168.10.1 à 192.168.10.14.
4. L'adresse de diffusion est 192.168.10.15.

> Solution n° 2

Exercice p. 10

1. Le nombre de bit à emprunter à la partie hôte pour déterminer les sous-réseau est 2.
2. Le premier sous-réseau a pour adresse réseau 192.168.10.0 / 28.
3. Le deuxième sous-réseau a pour adresse réseau 192.168.10.16 / 28.
4. Le troisième sous-réseau a pour adresse réseau 192.168.10.32 / 28.
5. Le quatrième sous-réseau a pour adresse réseau 192.168.10.48 / 28.
6. Le nombre de bit permettant d'adresser les hôtes de chaque sous-réseau est 4.

> Solution n° 3

Exercice p. 14

1. Les adresses de sous-réseaux susceptibles d'adresser les hôtes du sous-réseau A sont :
 - 192.168.30.0 / 26 ;
 - 192.168.30.64 / 26 ;
 - 192.168.30.128 / 26 ;
 - 192.168.30.192 / 26 .
2. Les adresses de sous-réseaux susceptibles d'adresser les hôtes du sous-réseau B sont :
 - 192.168.30.192 / 27 ;
 - 192.168.30.224 / 27 .
3. L'adresse de sous-réseau susceptible d'adresser les hôtes du sous-réseau C est :
192.168.30.224 / 28 .
4. L'adresse de sous-réseau susceptible d'adresser les hôtes du sous-réseau D est :
192.168.30.240 / 28 .

Bibliographie



Guy Pujolle, Initiation aux Réseaux cours et exercices, Éditions Eyrolles 2001

Guy Pujolle, Initiation aux réseaux cours et exercices, Editions Eyrolles 2001

Andrew Tanenbaum, Réseaux, 4è édition, Nouveaux Horizons, ISBN 978-2-915236-75-0

Jean-Luc Montagnier, Réseaux s'entreprise par la pratique, 2è Editions, Editions Eyrolles, ISBN 2-212-11258-0

Danièle DROMARD, Dominique SERET, Architecture des réseaux Synthèses de cours et exercices corrigés, collection Synthex, ISBN 978-2-7440-7385-4, 2009 Pearson Education France

Claude Servin, RESEAUX & TELECOMS cours et exercices corrigés, 3è édition DUNOD, ISBN 978 2 10 052626 0