

Introduction

- Protocoles à état de liens.
 - Au lieu d'utiliser une approche de type « calcul distribué incrémental » (DV) les protocoles de type état de liens (LS) utilisent une approche de type « base de données distribuées répliquées ».
 - Dans un protocole LS chaque routeur contribue à cette base de données en décrivant son environnement :
 - Ses liens actifs vers un segment réseau IP local
 - Ses liens actifs vers ses voisins
 - A chaque lien est associé un coût.
 - Cette description est distribuée à l'ensemble des routeurs constituant la topologie (pas seulement les voisins)

Introduction

- Protocoles à état de liens.
 - Ainsi chaque routeur possède la topologie exacte de l'ensemble du réseau (graphe).
 - Le coût d'un chemin est la somme des coûts des arêtes constituant le chemin.
 - Pour trouver les routes vers les différents réseaux, chaque routeur applique un protocole du plus court chemin sur le graphe en se considérant comme la racine (pour OSPF, algorithme de Dijkstra).
 - A chaque événement de type ajout/perte de lien, le graphe est modifié (une arête en plus/en moins) et l'algorithme de plus court chemin est à nouveau instancié.

Exemple

OSPF : Historique

- OSPF : Open Shortest Path First.
 - 1987 : groupe de travail formé
 - 1989 : premières spécifications OSPFv1 RFC1131
 - 1991 : spécifications OSPFv2 RFC1247
 - 1992 : OSPF est l'IGP recommandé par l'IETF
 - 1993 : Généralisation du CIDR
 - 1997 : Update des spécifications OSPFv2 RFC2178
 - 1998 : Update des spécifications OSPFv2 RFC2328
 - 1999 : Ipv6 OSPFv3 RFC 2740
 - 2008 : Update IPv6 OSPFv3 RFC5340

OSPF : Cahier des charges

- Cahier des charges initial :
 - Une métrique plus représentative du coût réel associé à un chemin
 - Support du VLSM
 - Support de la notion de hiérarchie
 - Distinction de l'origine des routes internes/externes
 - Support des chemins de même coût
 - Mécanismes de sécurité accrus (authentification)
 - Routage selon le Tos

OSPF : Fonctionnement

- Encapsulation et adressage :
 - OSPF est un protocole IP (protocole 89)
 - Utilise les fonctionnalités de fragmentation et de réassemblage d'IP.
 - OSPF utilise des adresses de type multicast (et non l'adresse de broadcast) voir www.iana.org
 - 224.0.0.5 (All OSPF routers)
 - 224.0.0.6 (All Designated routers)
- Métrique plus représentative :
 - Coût d'une interface donné par $10\ 000\ 000 / \text{BP}$
exemple :
 - 100 Mbits/s → 1
 - 1Gbits/s → 1
 - 128Kbits/s → 781

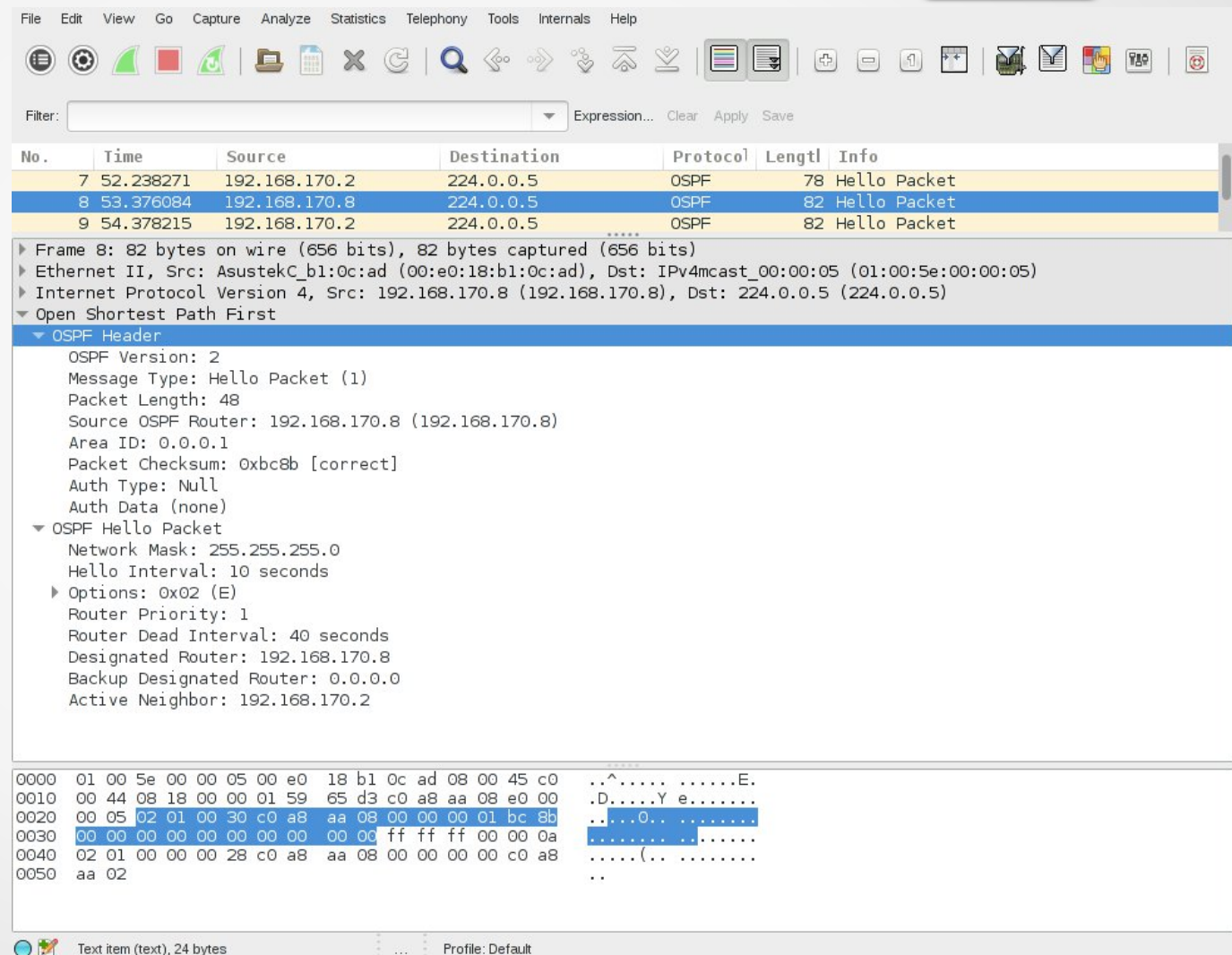
OSPF : Fonctionnement

- Format des messages

5 types de messages différents

- Hello
- LSU
- LSAck
- LSR
- DD

Un entête commun



The image shows a Wireshark network packet capture of an OSPF Hello packet. The packet list at the top shows three packets: packet 7 (time 52.238271, source 192.168.170.2, destination 224.0.0.5, protocol OSPF, length 78, info Hello Packet), packet 8 (time 53.376084, source 192.168.170.8, destination 224.0.0.5, protocol OSPF, length 82, info Hello Packet), and packet 9 (time 54.378215, source 192.168.170.2, destination 224.0.0.5, protocol OSPF, length 82, info Hello Packet). Packet 8 is selected, and its details are shown in the right pane. The details pane shows the following structure:

- Frame 8: 82 bytes on wire (656 bits), 82 bytes captured (656 bits)
- Ethernet II, Src: AsustekC_b1:0c:ad (00:e0:18:b1:0c:ad), Dst: IPv4mcast_00:00:05 (01:00:5e:00:00:05)
- Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.170.8 (192.168.170.8), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5)
- Open Shortest Path First
 - OSPF Header
 - OSPF Version: 2
 - Message Type: Hello Packet (1)
 - Packet Length: 48
 - Source OSPF Router: 192.168.170.8 (192.168.170.8)
 - Area ID: 0.0.0.1
 - Packet Checksum: 0xbc8b [correct]
 - Auth Type: Null
 - Auth Data (none)
 - OSPF Hello Packet
 - Network Mask: 255.255.255.0
 - Hello Interval: 10 seconds
 - Options: 0x02 (E)
 - Router Priority: 1
 - Router Dead Interval: 40 seconds
 - Designated Router: 192.168.170.8
 - Backup Designated Router: 0.0.0.0
 - Active Neighbor: 192.168.170.2

The packet bytes pane at the bottom shows the raw data in hexadecimal and ASCII. The first 24 bytes are highlighted in blue, corresponding to the OSPF header. The ASCII column shows the following characters: ..^.....E., .D.....Y e.,0.,,,,,

OSPF : Fonctionnement

- L'identifiant de Router
 - Identifiant unique de router (32bits):
 - Rien d'imposé dans la norme
 - Le routerID permet d'identifier l'origine des entrées dans la LSDB, il doit rester le plus constant possible dans le temps...
 - La pratique courante : une des adresses IP du routeur.
 - la plus grande adresse IP de ses interfaces opérationnelles, généralement on applique ceci à une interface de loopback qui n'est jamais supprimée (pas de couche liaison)
 - Chaque routeur choisit son ID à l'initialisation et n'en change plus tant que le processus OSPF n'est pas relancé.

OSPF : Fonctionnement

- Chaque routeur va :
 - Découvrir ses voisins
 - Echanger les informations de base données (LSDB) avec ses voisins de manière à obtenir une base de données cohérente (tous les routeurs doivent avoir la même LSDB)
 - Appliquer l'algorithme du plus court chemin (en se considérant racine) sur le graphe ainsi formé par toutes les informations de la LSDB
 - Placer le ou les meilleures routes dans sa table de routage interne

OSPF : Découverte des voisins

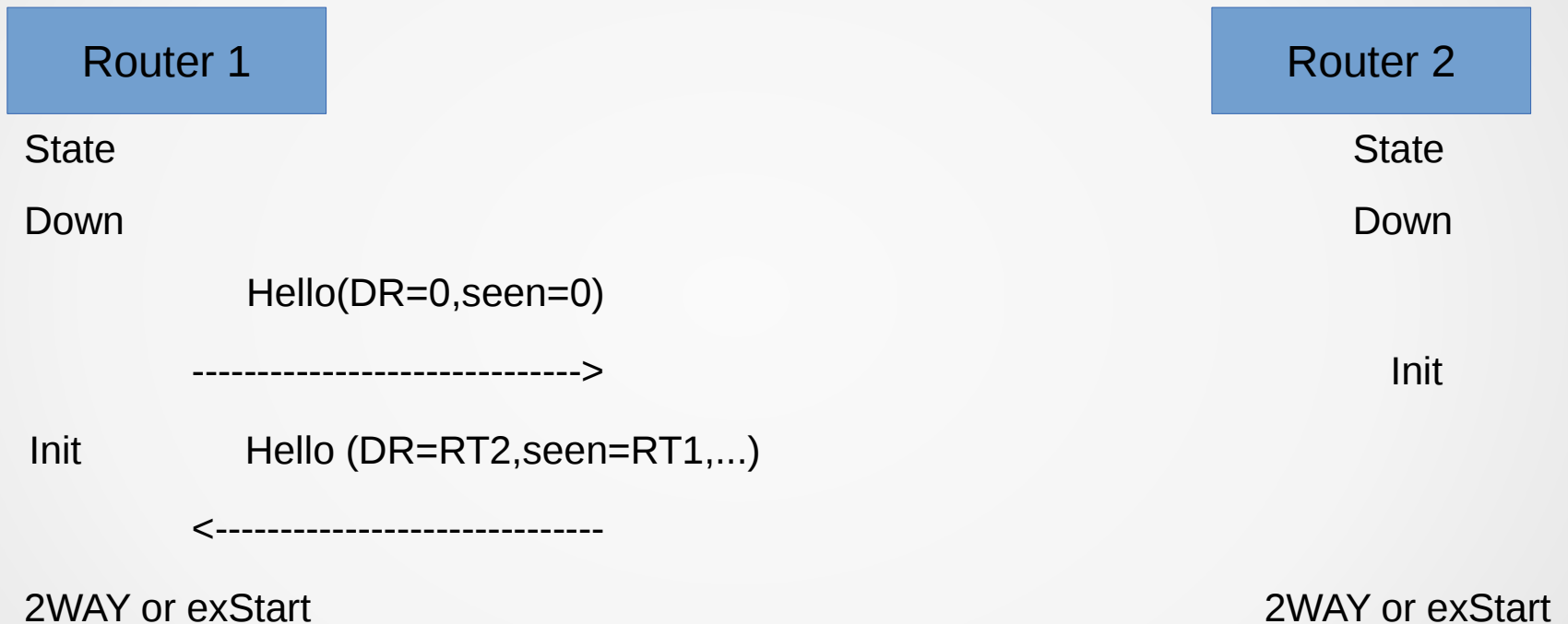
- Utilisation d'un paquet OSPF particulier : Hello packet
 - La découverte des voisins se fait par l'envoi périodique de paquets Hello sur toutes ses interfaces
 - Ces échanges permettent :
 - De s'assurer que le lien avec ses voisins est bi-directionnel (2WAY) car le paquet Hello envoyé par un router R1 contient la liste des voisins connus de R1.
 - Que les voisins sont d'accords sur certaines valeurs des paramètres du protocole :
 - Hello Interval
 - Router Dead Interval
 - [Le netmask]
 - Le protocole OSPF n'utilisera le lien que s'il y a une communication 2WAY entre les routeurs composant le lien.

OSPF : Découverte des voisins

- Utilisation d'un paquet OSPF particulier : Hello packet
 - L'envoi périodique permet aussi de maintenir l'état du lien (voisin perdu si aucun paquet Hello reçu depuis ce voisin pendant routerDeadInterval)
 - Surtout utile dans le cas où la perte du voisin ne peut pas être indiquée par la couche inférieure (liaison).
 - Par défaut :
 - HelloInterval : 10s
 - RouterDeadInterval : 40s
 - En fonction du type de réseau sur lequel les voisins sont connectés, les paquets Hello, peuvent avoir d'autres utilités :
 - Exemple (réseau de type Broadcast : Election des routers désignés)

OSPF : Découverte des voisins

- Utilisation d'un paquet OSPF particulier : Hello packet



Conclusion : les routeurs utilisent des paquets Hello pour se découvrir, une fois découverts, en fonction de critères vus plus loin, ils :

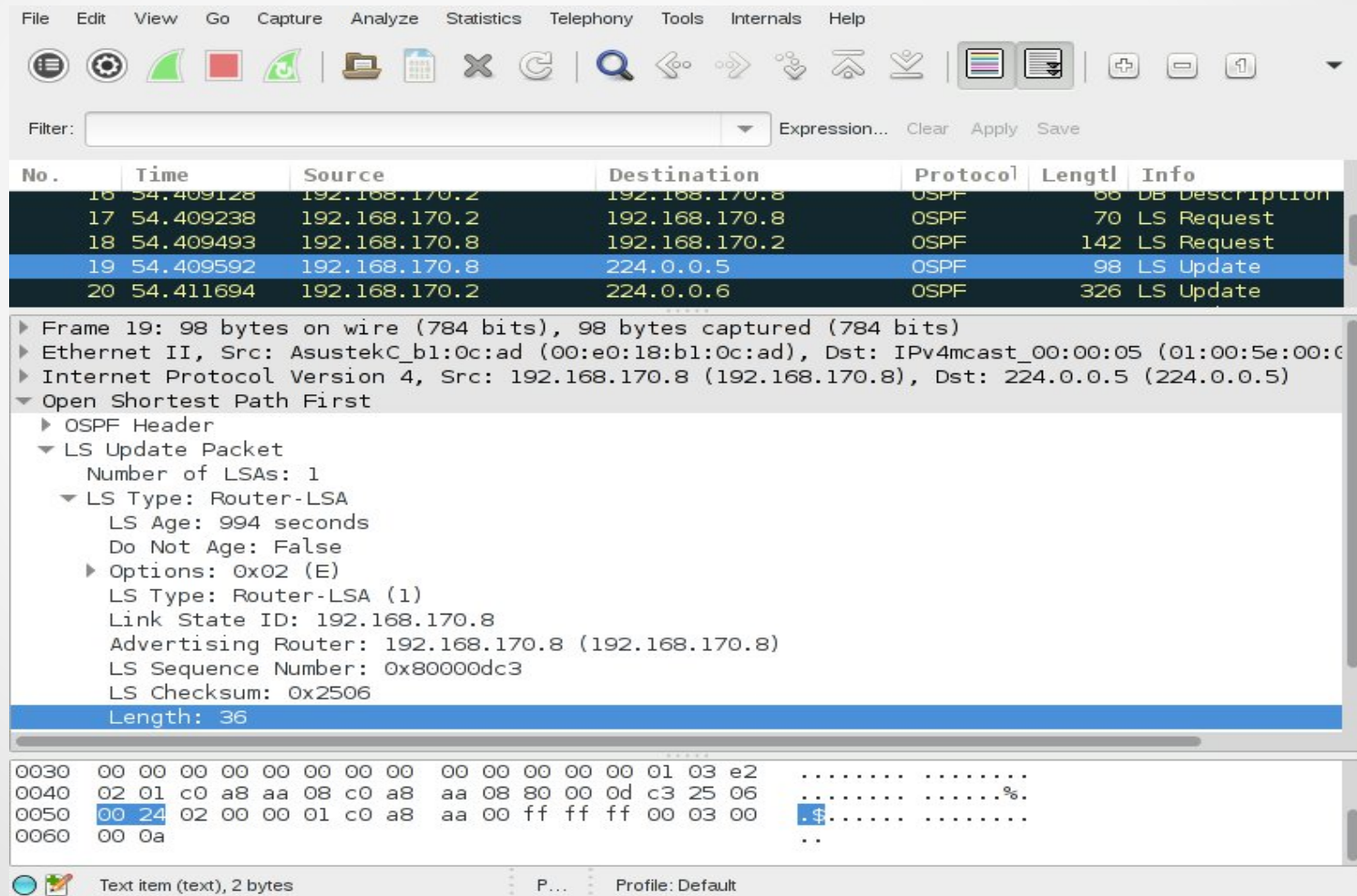
- restent dans cet état de communication 2WAY
- décident d'échanger leur vision de la topologie (les entrées de leur LSDB)

OSPF : Environnement d'un routeur

- Une fois les voisins trouvés, si le routeur doit échanger les informations de son environnement, que cela signifie t-il ?
 - Ses interfaces, les types de réseau sur lesquelles elles sont connectées
 - Ces informations sont
 - Envoyées dans des messages OSPF de type Link State Update ou LSU (cf slide 7).
 - Appelées Link State Advertisement
 - Il existe plusieurs types de LSA
 - Toutes ont un entête commun

OSPF : Environnement d'un routeur

- Entête LSA



The image shows a Wireshark network packet capture. The top menu bar includes File, Edit, View, Go, Capture, Analyze, Statistics, Telephony, Tools, Internals, and Help. Below the menu is a toolbar with various icons. A filter box is set to 'Filter:'. The packet list table shows several OSPF packets, with packet 19 selected. The packet details pane shows the structure of the selected packet, including the OSPF Header, LS Update Packet, and LS Type: Router-LSA. The packet bytes pane shows the raw data in hexadecimal and ASCII.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
16	54.409128	192.168.170.2	192.168.170.8	OSPF	68	DB Description
17	54.409238	192.168.170.2	192.168.170.8	OSPF	70	LS Request
18	54.409493	192.168.170.8	192.168.170.2	OSPF	142	LS Request
19	54.409592	192.168.170.8	224.0.0.5	OSPF	98	LS Update
20	54.411694	192.168.170.2	224.0.0.6	OSPF	326	LS Update

Frame 19: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured (784 bits)

Ethernet II, Src: AsustekC_b1:0c:ad (00:e0:18:b1:0c:ad), Dst: IPv4mcast_00:00:05 (01:00:5e:00:00:05)

Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.170.8 (192.168.170.8), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5)

Open Shortest Path First

- OSPF Header
- LS Update Packet
 - Number of LSAs: 1
 - LS Type: Router-LSA
 - LS Age: 994 seconds
 - Do Not Age: False
 - Options: 0x02 (E)
 - LS Type: Router-LSA (1)
 - Link State ID: 192.168.170.8
 - Advertising Router: 192.168.170.8 (192.168.170.8)
 - LS Sequence Number: 0x80000dc3
 - LS Checksum: 0x2506

Length: 36

0030 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 03 e2
0040 02 01 c0 a8 aa 08 c0 a8 aa 08 80 00 0d c3 25 06%
0050 00 24 02 00 00 01 c0 a8 aa 00 ff ff ff 00 03 00 ..\$.
0060 00 0a ..

Text item (text), 2 bytes P... Profile: Default

OSPF : Environnement d'un routeur

- Entête LSA
 - LS Age : représente l'age en secondes de la LSA (initialement émis à 0 par le routeur d'origine), permet de supprimer les entrées obsolètes.(= MaxAge 1800s)
 - Options : exemple : option (E) (stub)
 - LS Type : définit le types de la LSA :
 - Router LSA
 - Network LSA
 - Network-summary LSA
 - ASBR-Summary LSA
 - AS external LSA

OSPF : Environnement d'un routeur

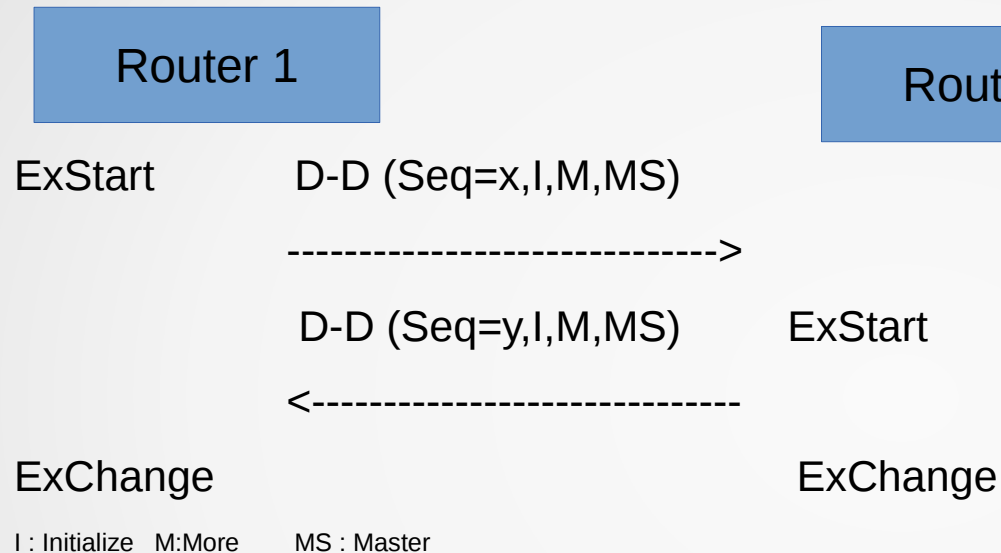
- Entête LSA
 - Link State ID :
 - Un identifiant unique au routeur permettant de distinguer une LSA parmi toutes celles qu'un routeur génère.
 - Généralement une adresse IP
 - Advertising Router :
 - L'identifiant du routeur qui génère la LSA (le routerID)
 - LS Sequence Number :
 - Le numéro de séquence de la LSA qui permet d'identifier qui est la plus récente parmi plusieurs propositions
 - Pour aller plus loin « ARPANET sequence bug »
 - Pour aller plus loin « lollipop-shaped sequence space vs Circular Sequence Space »

OSPF : Environnement d'un routeur

- Entête LSA
 - Link State Checksum :
 - Permet de vérifier l'intégrité de la LSA
 - Link State Length :
 - Longueur de la LSA avec l'entête

Conclusion : l'entête LSA contient les métadonnées qui permettent de décrire la LSA sans donner son contenu.

OSPF : Synchronisation initiale



Le routeur 1 se propose initialement master et propose un numéro de séquence x

Le routeur 2 se propose initialement master et propose un numéro de séquence y

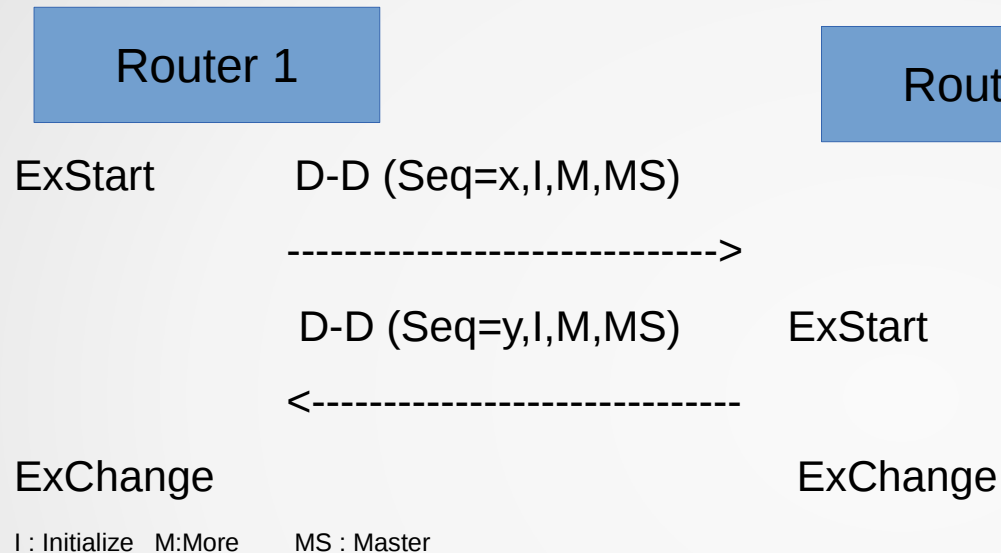
Le routeur 1 se rend compte que R2 est maitre (car routerID2 > routerID1) et adopte le numéro de séquence de R2

—> La relation maitre/esclave est établie et un numéro de séquence commun est utilisé (state Exchange).

OSPF : Synchronisation initiale

- State ExStart :
 - Synchronisation des LSDB avec les voisins
 - Initial Database Synchronization
 - Utilisation d'autres types de message
 - Database Description
 - Link State Request
 - Link State Update

OSPF : Synchronisation initiale



Le routeur 1 se propose initialement master et propose un numéro de séquence x

Le routeur 2 se propose initialement master et propose un numéro de séquence y

Le routeur 1 se rend compte que R2 est maitre (car routerID2 > routerID1) et adopte le numéro de séquence de R2

—> La relation maitre/esclave est établie et un numéro de séquence commun est utilisé (state Exchange).

OSPF : Synchronisation initiale

Router 1

ExChange

D-D (Seq=y,M,Slave)

----->

D-D (Seq=y+1,M,Master)

<-----

D-D (Seq=y+1,M,Slave)

----->

...

...

...

D-D (Seq=y+n, Master)

<-----

D-D (Seq=y+n, Slave)

----->

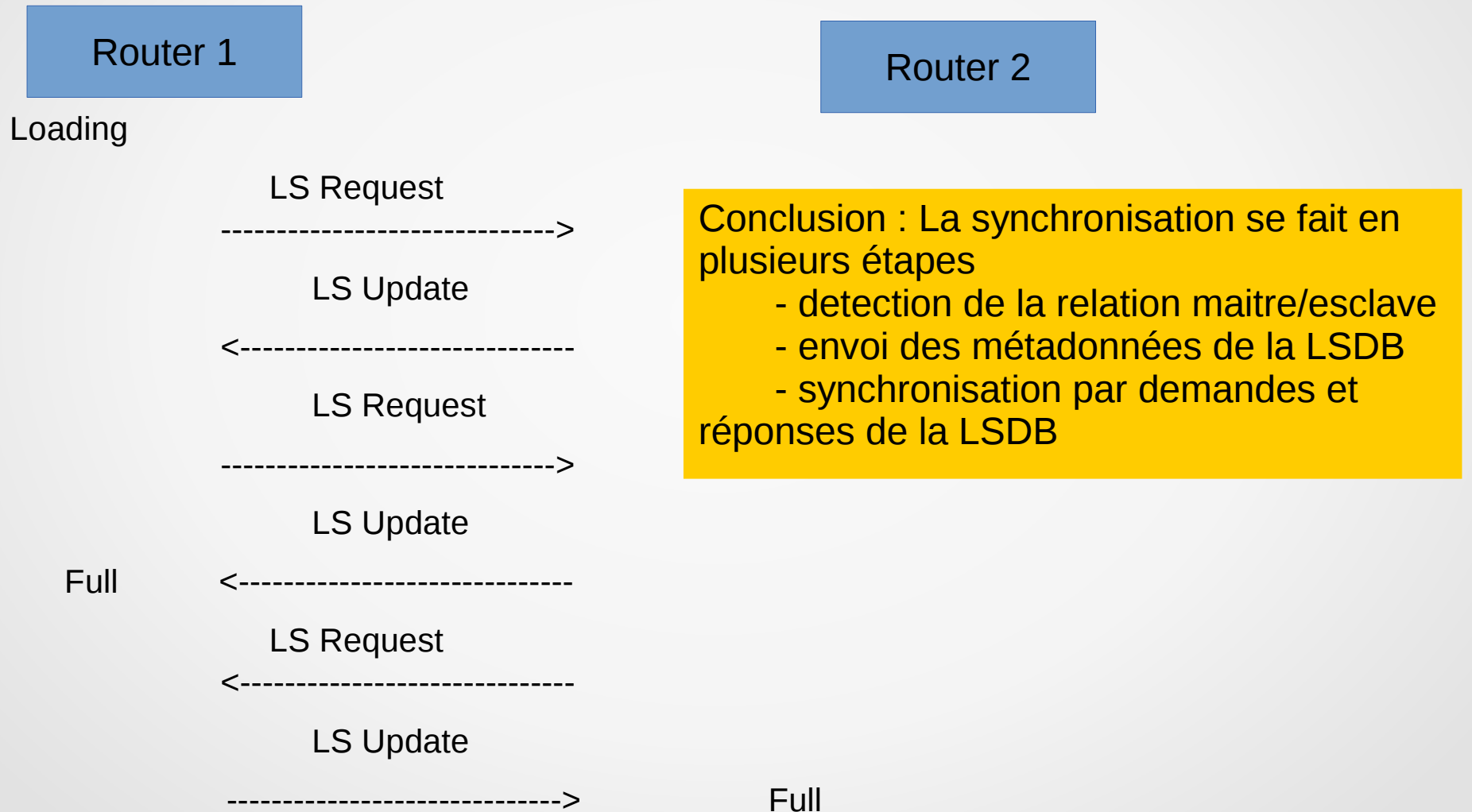
Loading

Router 2

ExChange

Les échanges se font via un protocole de couche 3 (IP) non fiable, le fonctionnement du protocole d'échange est semblable à celui de TFTP.

OSPF : Synchronisation initiale



OSPF : Router LSA

- Router-LSA :

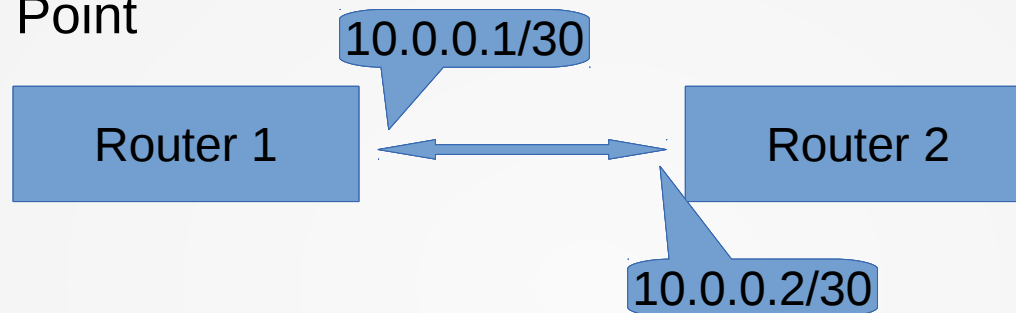
Link type	Description	Link ID
1	Point-to-point link	Neighbor Router ID
2	Link to transit network	Interface address of Designated Router
3	Link to stub network	IP network number
4	Virtual link	Neighbor Router ID

Table 18: Link descriptions in the router-LSA.(rfc2328)

OSPF : Environnement d'un routeur

- Les différents types de réseaux :

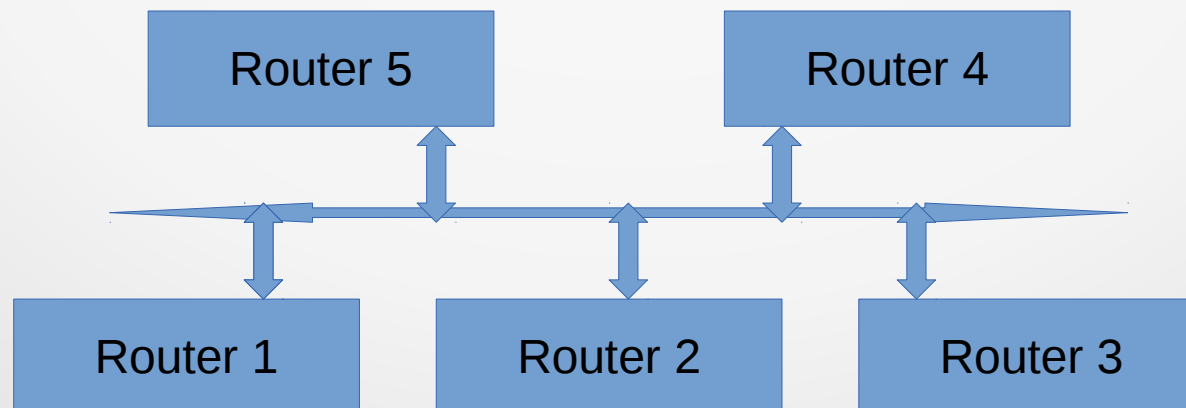
- Point to Point



- *A network that joins a single pair of routers. A 56Kb serial line is an example of a point-to-point network. (RFC2328)*
 - Le routeur R1 se décrit pour la liaison ptp comme ceci :
 - 1 lien de type 1 (point to point) pour indiquer le lien avec le voisin
 - Link ID = routerID du voisin
 - 1 lien de type 3 (stub network) pour indiquer le subnet
 - Link ID = network subnet

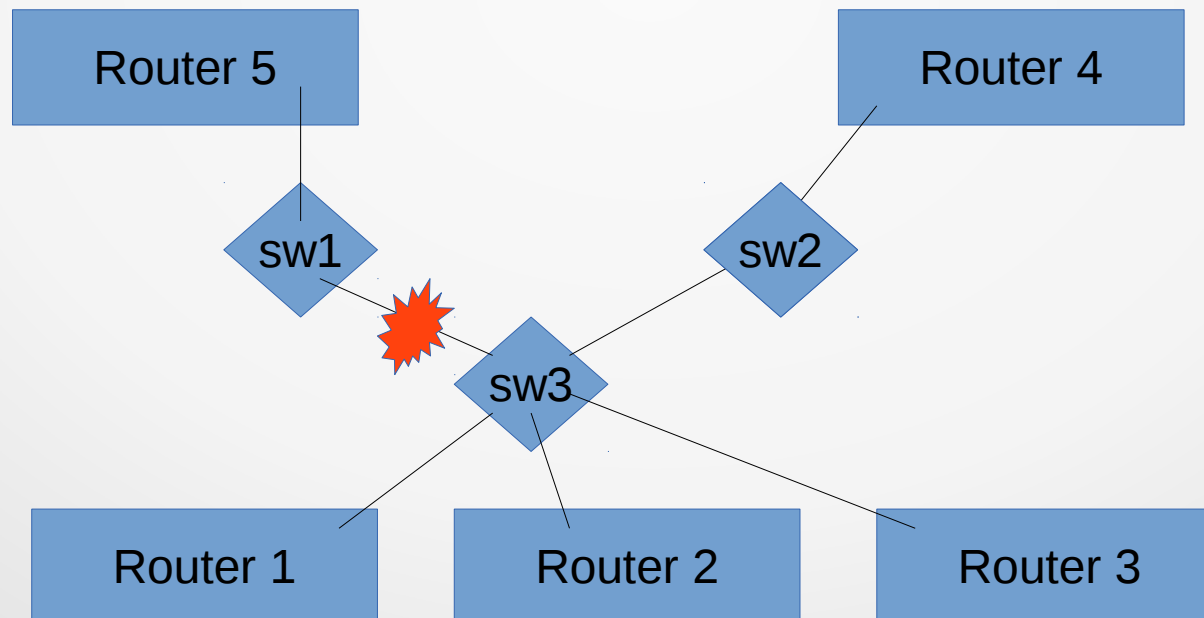
OSPF : Router LSA

- Les différents types de réseaux :
 - Broadcast Network
 - *Networks supporting many (more than two) attached routers, together with the capability to address a single physical message to all of the attached routers (broadcast). (RFC2328)*
 - Est-ce que le fait qu'un routeur annonce son appartenance au réseau (interface active sur le réseau) indique qu'il est en adjacence avec les autres routeurs ?



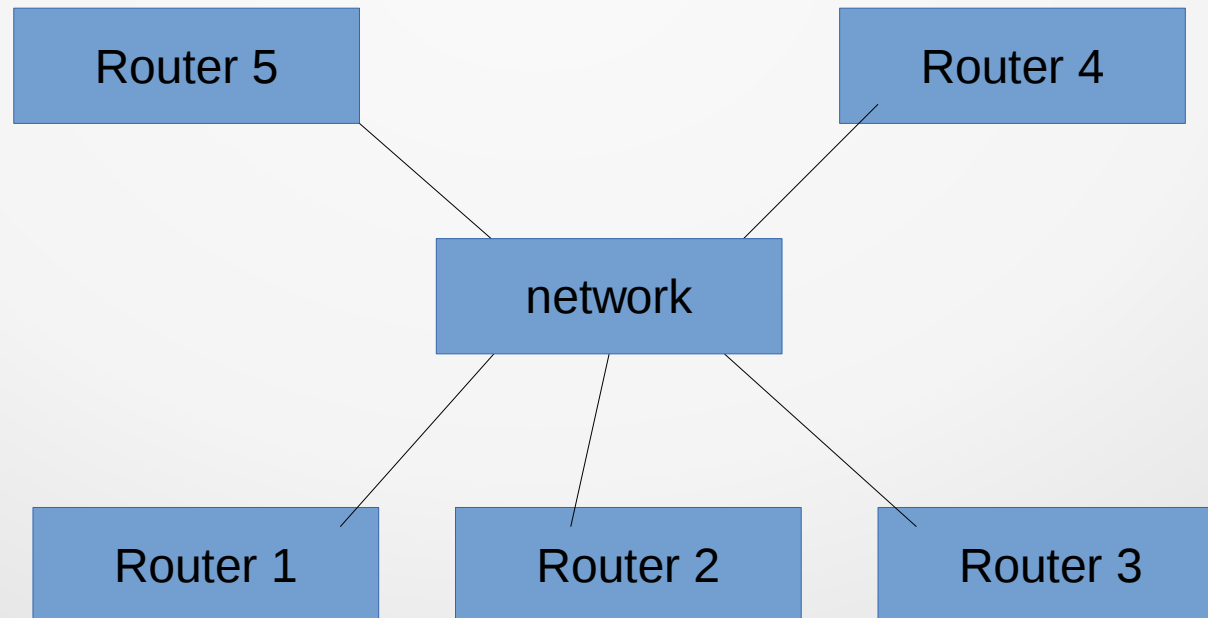
OSPF : Router LSA

- Les différents types de réseaux :
 - Broadcast Network
 - Est-ce que le fait qu'un routeur annonce son appartenance au réseau indique qu'il est en adjacence avec les autres routeurs ?



OSPF : Router LSA

- Les différents types de réseaux :
 - Broadcast Network
 - Il faudrait donc annoncer toutes les adjacences de ces routeurs (ici $5 \times 4 / 2 = 10$ adjacences) $O(n^2)$
 - Pour éviter cela OSPF utilise une représentation différente ne nécessitant que 5 liens $O(n)$

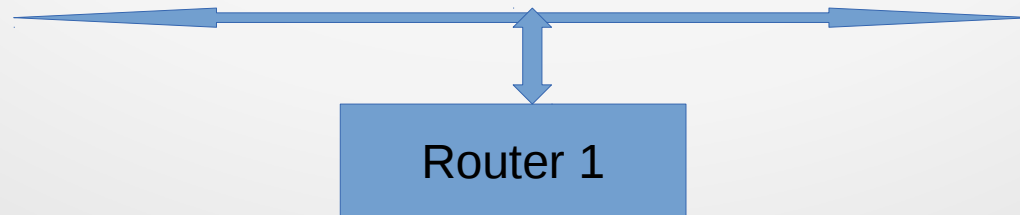


OSPF : Router LSA

- Les différents types de réseaux :
 - Broadcast Network
 - Chaque router s'annonce comme connecté au réseau (un réseau de transit).
 - Le « réseau » n'est pas une entité physique, il ne peut donc s'annoncer, cette fonctionnalité est sous-traitée à un des routeurs
 - Le(s) routeur(s) désigné(s) – DR et BDR
 - Elu lors des envoi des paquets Hello
 - Re-élection à la mort du DR (en attendant le BDR peut prendre le relai)
 - Annonce en plus de leur router LSA un nouveau type de LSA (Network LSA)

OSPF : Router LSA

- Les différents types de réseaux :
 - Cas particulier :
 - Un routeur connecté à un réseau de type broadcast /ethernet mais sans voisin
 - S'annoncera dans le routeur LSA avec 1 lien de type « stub network »



OSPF : Router LSA

- Les différents types de réseaux :
 - Il existe d'autres types de réseaux
 - NBMA : Non broadcast Multiple Access
 - Point to Multipoint
 - Qui se ramènent aux cas précédents.

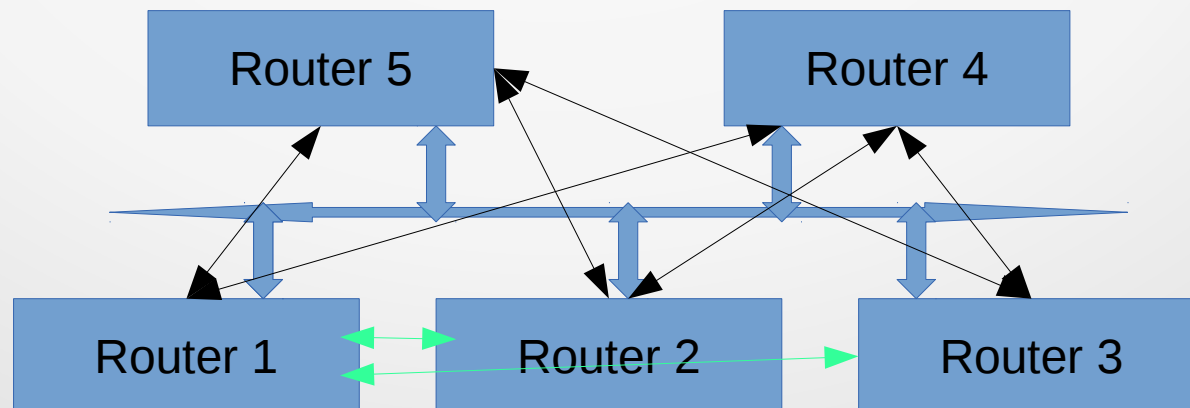
Conclusion : La LSDB contient des routerLSA qui permettent de décrire une topologie, cette description est assez complexe, ainsi le debuggage d'OSPF est plus complexe que celui de RIP, mais il permet de n'importe quel point du réseau de connaître toute la topologie.

Conclusion : L'objectif de ces échanges est de permettre d'avoir une base cohérente (LSDB) et identique pour tous les routeurs !!!!

OSPF : Synchronisation initiale

Les deux états stables sont

- FULL : Les 2 routeurs sont synchronisés.
 - Dans le cas d'une liaison de type Point a Point
 - Si l'un des deux est routeurs de la communication est DR ou BDR
- 2WAY : Les 2 routeurs se voient de manière bidirectionnelle
 - Dans un réseau de type broadcast, dans le cas ou aucun des routeurs de la communication n'est DR ou BDR



OSPF : Database.

R3# sh ip ospf database

OSPF Router with ID (192.168.2.1)

Router Link States (Area 0.0.0.0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	CkSum	Link count
192.168.1.1	192.168.1.1	53	0x800000005	0x8511	1
192.168.1.2	192.168.1.2	48	0x800000006	0x8111	1
192.168.2.1	192.168.2.1	52	0x800000007	0xa675	3
192.168.2.2	192.168.2.2	73	0x800000002	0x5eb4	2

Net Link States (Area 0.0.0.0)

Link ID	ADV Router	Age	Seq#	CkSum
192.168.1.3	192.168.2.1	52	0x800000002	0x8da9

OSPF : Database.

R3# sh ip ospf database router 192.168.2.1

OSPF Router with ID (192.168.2.1)

Router Link States (Area 0.0.0.0)

LS age: 256

Options: 0x2 : *|---|E|*

LS Flags: 0x3

Flags: 0x0

LS Type: router-LSA

Link State ID: 192.168.2.1

Advertising Router: 192.168.2.1

LS Seq Number: 80000007

Checksum: 0xa675

Length: 60

Number of Links: 3

Link connected to: a Transit Network

(Link ID) Designated Router address: 192.168.1.3

(Link Data) Router Interface address: 192.168.1.3

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metric: 10

Link connected to: another Router (point-to-point)

(Link ID) Neighboring Router ID: 192.168.2.2

(Link Data) Router Interface address: 192.168.2.1

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metric: 10

Link connected to: Stub Network

(Link ID) Net: 192.168.2.0

(Link Data) Network Mask: 255.255.255.252

Number of TOS metrics: 0

TOS 0 Metric: 10

OSPF : maintien des liens

- Un changement de topologie (perte d'un lien, ajout d'un lien) provoque l'envoi de nouveau(x) LSA par le routeur d'origine.
 - La perte de lien est détectée soit
 - par la couche physique,
 - soit par la non réception de Hello pendant routerDeadInterval secondes.
- Périodiquement, avant l'expiration de la LSA (maxAge=1800s), un routeur réannonce cette LSA (routerLSA et Network LSA)
- Dans les deux cas ce nouveau LSA est envoyé :
 - avec un numéro de séquence incrémenté pour que cette annonce soit tout de suite prise en compte
 - Avec un age mis à 0
 - En utilisant un mécanisme d'inondation fiable.

OSPF : Inondation fiable

- OSPF s'appuyant sur IP, le protocole OSPF doit assurer la fiabilité des envois d'informations.
 - Mécanisme qui démarre quand un routeur veut mettre à jour une de ses LSA (celles dont il est l'origine)
 - Suppression (maxage=1800s)
 - Changement de topologie
 - Le routeur envoie cette LSA dans un paquet LSU sur toutes ses interfaces et attend l'acquittement (explicite ou implicite)
 - A la réception, si cette LSA est plus récente que celle dans la base locale (LSDB), le routeur l'installe dans sa LSDB, acquitte la réception, et transmet cette LSA sur toutes ses autres interfaces.

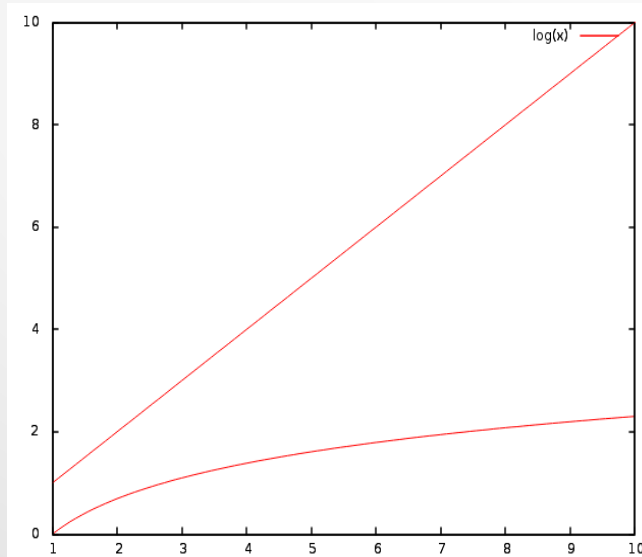
OSPF : Inondation fiable

- Robustesse de l'inondation
 - Utilisation du checksum pour vérifier l'intégrité
 - Ré-emission si pas d'acquittement
 - A chaque envoi dans un LSU, l'age de la route est incrémenté. (évite les boucles infinies d'envoi)
 - Afin d'éviter les envois trop fréquents, un routeur ne peut envoyer un LSA particulier que toutes les 5 secondes minimum.
 - Afin de ne pas calculer trop souvent les routes issues du graphe, un routeur refusera une mise à jour de la LSA dans la LSDB s'il vient de recevoir cet LSA il y a moins d'une seconde.

OSPF : Inondation fiable

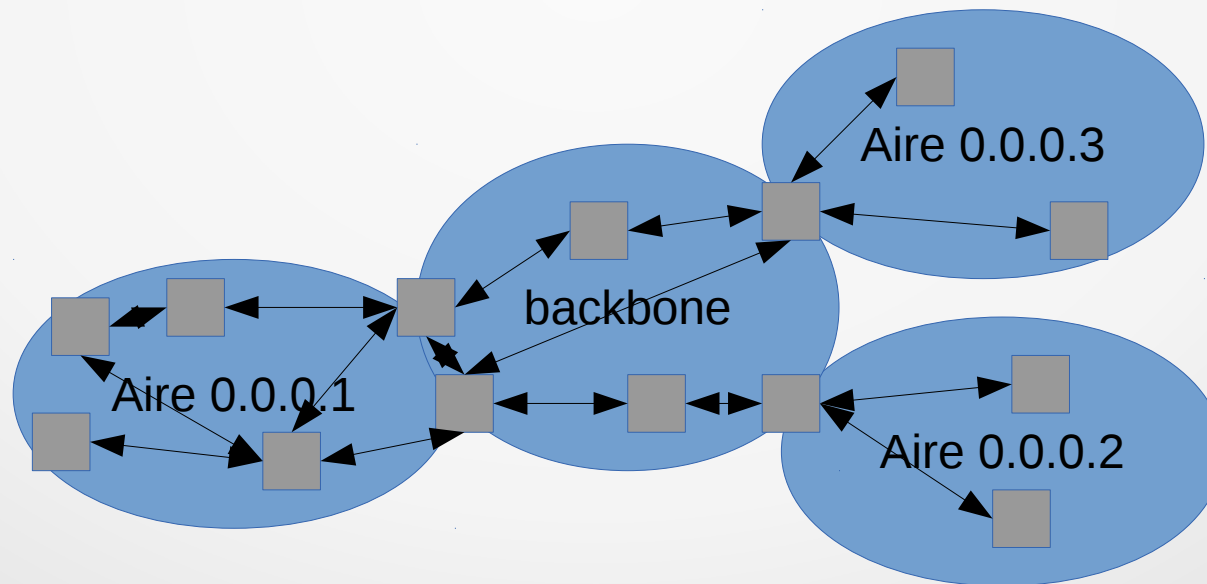
Conclusion : L'objectif de ces échanges est de permettre d'avoir une base cohérente (LSDB) et identique pour tous les routeurs !!!!

— >Notion de hiérarchie



OSPF : Hierarchie

- Hierarchie à 2 niveaux :
 - Les aires OSPF
 - Une aire de backbone
 - Des aires connectées au backbone



OSPF : Hierarchie

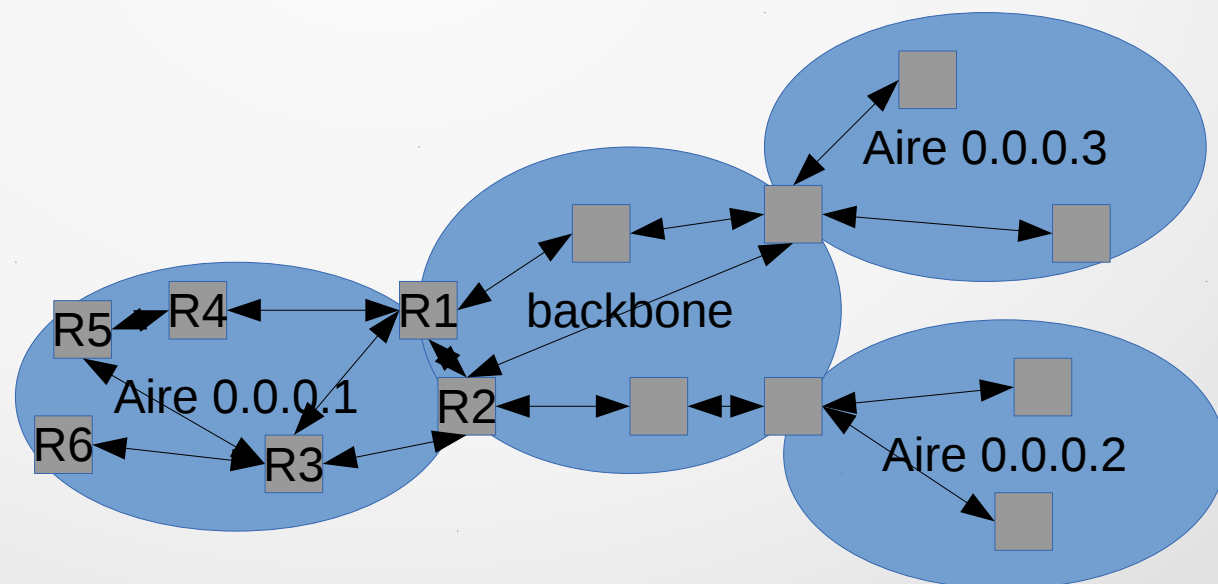
- Hierarchie à 2 niveaux :
 - Terminologie :
 - Internal Router
 - Un router dont toutes les interfaces sont dans la même aire
 - Backbone router
 - Un routeur qui à au moins une interface dans l'aire de backbone
 - Area Border Router
 - Un routeur qui est attaché à 2 aires
 - AS Border Router
 - Un routeur qui échange des information de routage avec d'autres routeurs d'un autre AS (généralement via un EGP)

OSPF : Routage Inter Area

- Dans chaque aire, le routage se fait comme vu précédemment, c'est ce qu'on appelle le routage intra-area.
 - Le routage entre les aires ou (inter area) permet de ne plus exporter la topologie de l'intérieur d'une aire vers les autres aires, mais de renvoyer des résumés des routes disponibles
 - Router LSA (intra area)
 - Network LSA (intra area)
 - Network-summary LSA
 - ASBR-Summary LSA
 - AS external LSA

OSPF : Routage Inter Area

- Les routeurs de bordure d'aire jouent un rôle particulier :
 - Ils renvoient les routes connues d'une des aires (aire A) dans un autre aire (aire B) sous forme de Network-Summary LSA.
 - Un subnet ne génère qu'une seule entrée.
 - Donc, les routeurs de l'aire B ne connaissent pas le détail de la topologie de l'aire A

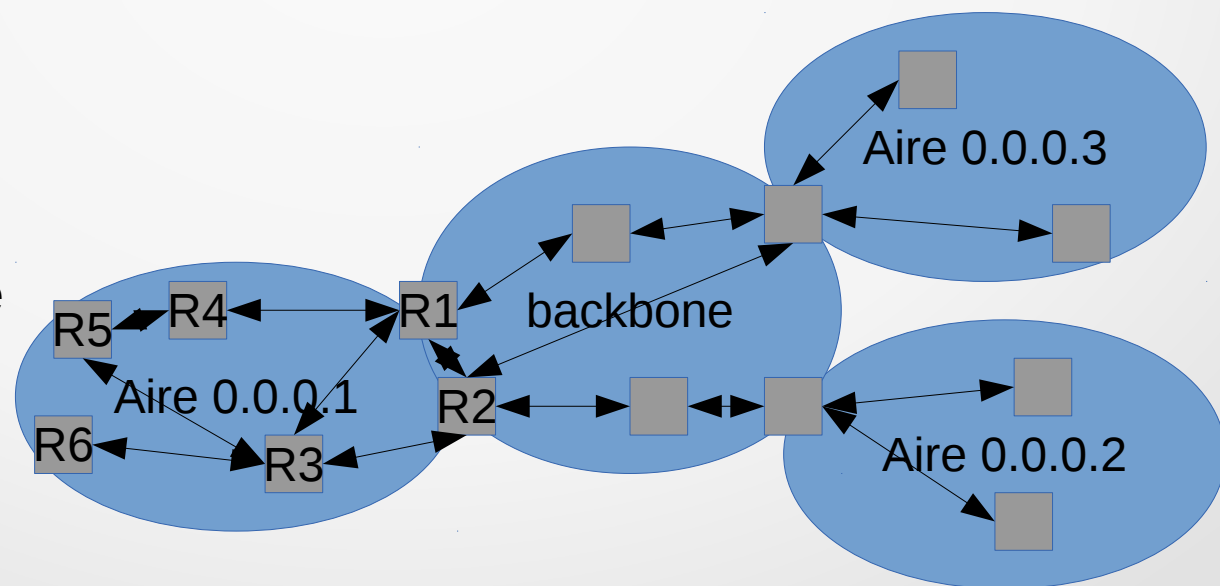


OSPF : Routage Inter Area

- Exemple :
 - Grâce au routage intra area les routeur R1 à R6 connaissent la topologie de l'aire 0.0.0.1 et les distances $d_{i,j}$ entre eux.
 - Les routeurs R1 et R2 annoncent les routes apprises du backbone avec un coût correspondant dans l'aire 0.0.0.1 sous forme de Network-summary LSA

Les routeurs R3 à R6 choisissent la meilleure route pour un subnet donné, en minimisant x

x =somme du coût annoncé et de la distance à l'annonçant.



OSPF : Routage Inter Area

A quoi cela vous fait il penser ?

OSPF : Routage Inter Area

- Network Summary LSA

The image shows a Wireshark packet capture of an OSPF LS Update packet. The packet list at the top shows three packets: packet 24 (OSPF DB Description), packet 25 (OSPF LS Update), and packet 26 (OSPF DB Description). The packet details pane shows the structure of the LS Update packet, including the OSPF Header, LS Update Packet, and a list of LSAs. The selected Summary-LSA (IP network) is expanded, showing its fields: LS Age (98), Do Not Age Flag (0), Options (0x02), LS Type (Summary-LSA), Link State ID (192.168.2.0), Advertising Router (192.168.2.1), Sequence Number (0x80000001), Checksum (0xd5a8), Length (28), Netmask (255.255.255.252), and Metric (10). The packet bytes pane at the bottom shows the raw data of the packet, with the first 28 bytes highlighted in blue.

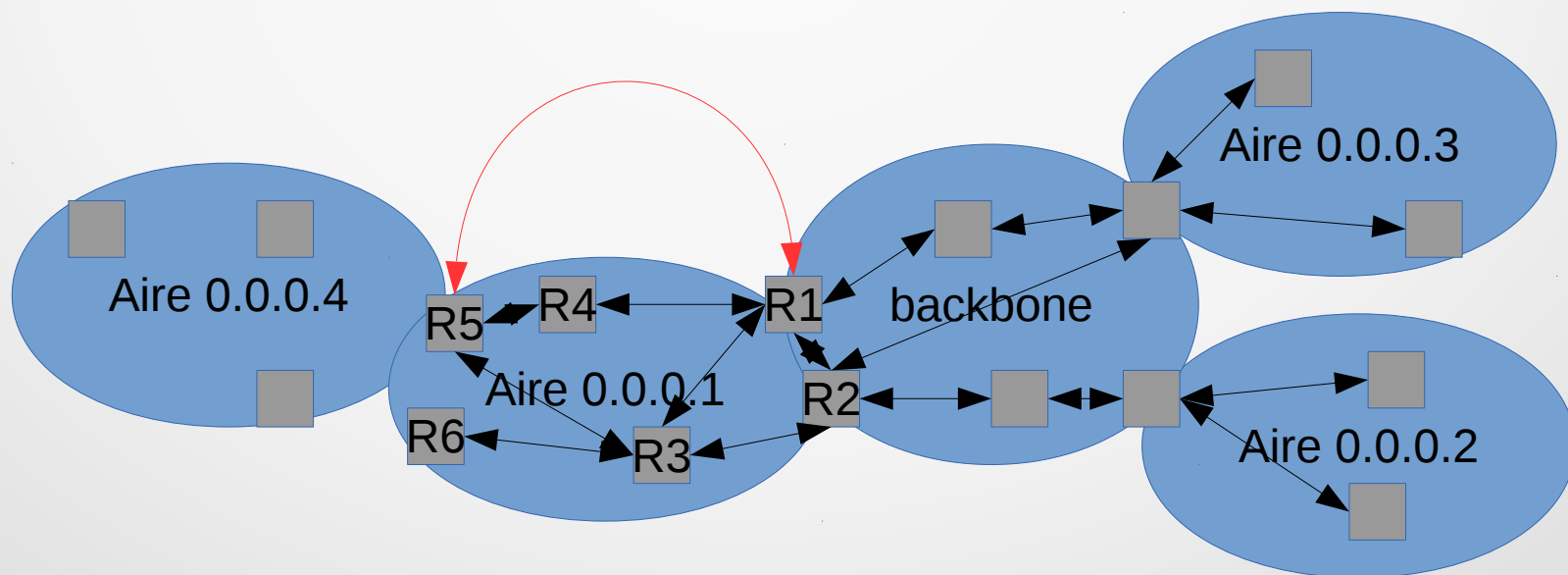
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
24	5.229388	192.168.1.1	192.168.1.2	OSPF	66	DB Description
25	5.229760	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF	98	LS Update
26	5.229781	192.168.1.2	192.168.1.3	OSPF	66	DB Description

Packet 25 details:

- Ethernet II, Src: Boninter_fa:23:15 (02:04:06:fa:23:15), Dst: IPv4mcast_05 (01:00:5e:00:00:05)
- Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.1 (192.168.1.1), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5)
- Open Shortest Path First
 - OSPF Header
 - LS Update Packet
 - Number of LSAs: 6
 - Router-LSA
 - Router-LSA
 - Router-LSA
 - Router-LSA
 - Network-LSA
 - Summary-LSA (IP network)**
 - .000 0000 0110 0010 = LS Age (seconds): 98
 - 0... .. = Do Not Age Flag: 0
 - Options: 0x02 (E)
 - LS Type: Summary-LSA (IP network) (3)
 - Link State ID: 192.168.2.0 (192.168.2.0)
 - Advertising Router: 192.168.2.1 (192.168.2.1)
 - Sequence Number: 0x80000001
 - Checksum: 0xd5a8
 - Length: 28
 - Netmask: 255.255.255.252 (255.255.255.252)
 - Metric: 10

OSPF : Routage Inter Area

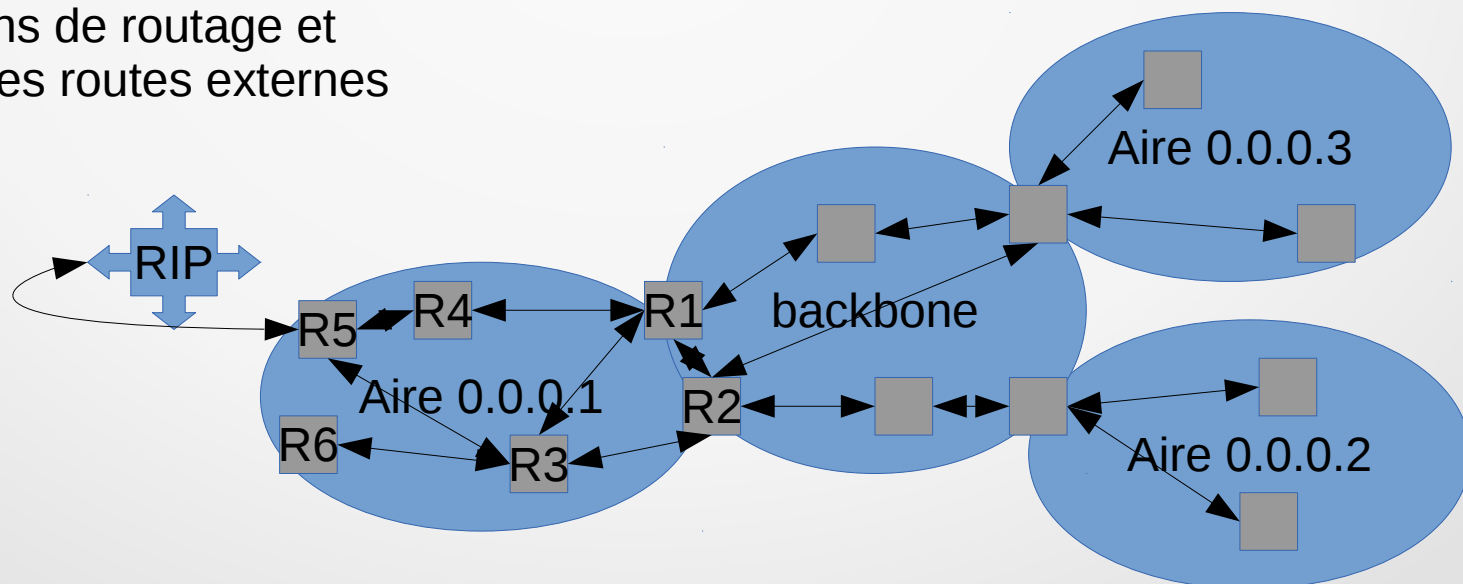
- Les routeurs R1 et R2 peuvent être configurés pour agréger des routes
 - Moins de routes à envoyer dans l'aire 0.0.0.1
 - Perte de granularité (routage sous-optimal)
- Que se passe t-il si on ne peut pas connecter une aire à celle du backbone ? → Virtual link
 - Un lien virtuel permet de tunneliser les Summary LSA.



OSPF : Routage Inter AS

- AS External LSA
 - Certains routeurs peuvent obtenir des informations de routage d'autres protocoles
 - Ces routes sont envoyées dans OSPF (redistribuées) via des AS External LSA

R5 échange via RIP, des informations de routage et apprend des routes externes à l'AS



OSPF : Routage Inter AS

- AS External LSA :

The image shows a Wireshark packet capture of an OSPF AS-External-LSA (ASBR) packet. The packet list at the top shows two packets, 13 and 14, both of type OSPF. Packet 14 is selected, and its details are shown in the packet details pane. The packet is an OSPF Header followed by an LS Update Packet. The LS Update Packet contains 8 LSAs: four Router-LSAs, one Network-LSA, one Summary-LSA (IP network), one Summary-LSA (ASBR), and one AS-External-LSA (ASBR). The AS-External-LSA (ASBR) is expanded, showing its fields: LS Type: AS-External-LSA (ASBR) (5), Link State ID: 193.0.0.0 (193.0.0.0), Advertising Router: 192.168.2.2 (192.168.2.2), Sequence Number: 0x80000001, Checksum: 0xae0, Length: 36, Netmask: 255.255.255.0 (255.255.255.0), External Type: Type 2 (metric is larger than any other link state path), Metric: 20, Forwarding Address: 0.0.0.0 (0.0.0.0), and External Route Tag: 0. The packet bytes pane at the bottom shows the raw data of the packet, with a hex dump and an ASCII representation. The packet is 150 bytes long.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
13	10.004277	192.168.1.3	192.168.1.2	OSPF	66	DB Description
14	10.004298	192.168.1.1	192.168.1.2	OSPF	66	DB Description

Filter: Expression... Clear Apply Save

OSPF Header

- LS Update Packet
 - Number of LSAs: 8
 - Router-LSA
 - Router-LSA
 - Router-LSA
 - Router-LSA
 - Network-LSA
 - Summary-LSA (IP network)
 - Summary-LSA (ASBR)
 - AS-External-LSA (ASBR)
 - .000 0000 0010 0001 = LS Age (seconds): 33
 - 0... .. = Do Not Age Flag: 0
 - Options: 0x02 (E)
 - LS Type: AS-External-LSA (ASBR) (5)
 - Link State ID: 193.0.0.0 (193.0.0.0)
 - Advertising Router: 192.168.2.2 (192.168.2.2)
 - Sequence Number: 0x80000001
 - Checksum: 0xae0
 - Length: 36
 - Netmask: 255.255.255.0 (255.255.255.0)
 - External Type: Type 2 (metric is larger than any other link state path)
 - Metric: 20
 - Forwarding Address: 0.0.0.0 (0.0.0.0)
 - External Route Tag: 0

OSPF : Routage inter AS

- Les AS External LSA inondent l'ensemble des aires, on dit que leur scope est global contrairement aux router/network/network-Summary LSA qui ont un scope de l'ordre de l'aire
 - Ces annonces LSA (1 par subnet) indiquent le coût externe pour joindre le réseau (external metric)
 - Tous les routeurs reçoivent ces AS-External LSA.
- Les routeurs de bordure d'AS s'annoncent aussi dans des LSA de type ASBR-Summary (type 4)
 - Ainsi chaque routeur connaît les routeurs de bordure d'aire et la distance interne qui les sépare de ces routeurs (internal metric)
- 2 politiques pour prendre en compte les routes externes
 - External type 1 : prise en compte de la somme de la métrique interne et externe
 - External type 2 : prise en compte de la seule métrique externe

OSPF : Routage inter AS

- Diffusion des routes à travers les aires.
 - On peut empêcher une aire de recevoir/émettre des routes externes :
 - Pour limiter la consommation mémoire du processus OSPF
 - Tous les routeurs de l'aire doivent être configurés de manière identique (stub area)
 - Ne permet pas non plus de créer des liens virtuels à travers cette aire
 - Le routage à l'extérieur de l'AS utilise une route par défaut injectée par le routeur d'aire
 - De manière optionnelle (totally stub area), les network-summary LSA peuvent aussi être supprimées pour n'utiliser que la route par défaut.
 - On peut aussi définir des aires Not-So-Stubby-Area (NSSA) qui reprennent les règles d'une aire stub mais permettent d'injecter des routes externes (NSSA (type7)) dans OSPF, mais pas l'inverse.