

NE430 : routage.

- Administratif:
 - 8CM, 5TP
 - Enseignant: Quentin Giorgi
 - 2,5 ECTS (soit environ 70h de travail dont 27 de présentiel)

http://ec.europa.eu/education/ects/users-guide/assets/ects_users-_guide_web.pdf

- Evaluation:
 - $N1 = ((E1 * 75) + (CC * 25)) / 100$
 - $N2 = ((E2 * 75) + (CC * 25)) / 100$
 - CC :
 - TP (préparation à la maison) et (TDM et/ou QCM de cours)

NE430 : routage.

- Objectif du cours:
 - Capable de concevoir et comprendre des protocoles de routage en se basant sur des concepts vus en cours.
 - Capable de spécifier, concevoir et implémenter une architecture de routage IP inter et intra AS.
 - Capable de spécifier, concevoir et implémenter une architecture réseau d'interconnexion IP, sécuriser les échanges, la faire évoluer vers les technologies récentes telles IPv6, diagnostiquer des problèmes de performances.

NE430 : routage.

- Outils nécessaire pour le cours:
 - Routeur Cisco
 - System GNU/Linux
 - Marionnet
 - Quagga
 - Autres ?



NE430 : routage.

- IP : Rappel et compléments sur IP
 - IPv4 RFC 791 (1981)
 - De nombreux compléments, modifications dans :
 - Requirements for IPV4 router rfc1812
 - Requirements for IPV4 host rfc1122
 - IPv4 est-il mort ?

☀ <https://www.ripe.net/publications/docs/ripe-708> et suivants

☀ <https://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.xhtml>

- Quelles alternatives ?

NE430 : routage.

- Routage vs Relayage de paquets
 - Relayage :
 - Utilisation d'une table (FIB= Forwarding Information Base) pour relayer les paquets entrants, vers la destination.
 - La table comporte le prochain saut (délivrance distante) ou l'interface de sortie (délivrance locale)
 - Exemple :

Destination	Gateway	Genmask	Flags	MSS	Window	irrt	Iface
192.168.130.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0 0		0	eth0
0.0.0.0	192.168.130.254	0.0.0.0	UG	0 0		0	eth0

NE430 : routage.

- Routage vs Relayage de paquets
 - Routage :
 - Service offert par la couche 3 (ici IP) permettant une communication de bout en bout à travers des réseaux hétérogènes.
 - Maintient et met à jour de la table de routage sur les routeurs intermédiaires.
 - Echange des informations de routage entre routeurs coopérants: Ce sont les protocoles de routage.
(ne pas confondre protocole de routage et protocole routable)

NE430 : routage.

- Routage statique :
 - Les entrées de la table de routage sont invariantes dans le temps (sauf manipulation d'administration).
 - L'administrateur rentre manuellement les entrées dans la table de routage.
 - Principalement adapté aux cas des stations finales (une route statique par défaut vers une passerelle)
cette route statique peut être récupérée via DHCP
 - Pas adapté aux architectures pouvant subir des modifications de topologie (liens ou routeurs défectueux, etc..)

NE430 : routage.

- Routage dynamique :
 - Les entrées de la table de routage peuvent varier dans le temps en fonction des modifications de topologies (ou autres).
 - Les routeurs coopérants échangent des informations (soit des événements, soit leur table de routage) afin de maintenir les entrées de la table de routage.
 - Protocole à états de liens, ou à vecteur de distance.
 - Certains protocoles de routage ne sont pas pro-actifs, mais réactifs (une route est recherchée sur sollicitation) Cela est plus adapté aux réseaux LRWPAN où la gestion de l'énergie est un point crucial.
 - Protocole proactifs ou réactifs.
- ☀ Voir AODV,OLSR,RPL....

NE430 : routage.

- Rappel sur l'adressage IP
 - La RFC 791 spécifie 5 classes d'adresses afin de définir des réseaux IP, il s'agit des classes A,B,C,D,E. La définition de ces classes se base sur la valeur des bits de poids forts de l'adresse.
 - Classe A 0 à 127 bits de l'octet de poids fort: 0xxx xxxx/8
 - Classe B 128 à 191 bits de l'octet de poids fort: 10xx xxxx/16
 - Classe C 192 à 223 bits de l'octet de poids fort: 110x xxxx/24
 - Classe D 224 à 239 bits de l'octet de poids fort: 1110 xxxx (Multicast)
 - Classe E 240 à 255 bits de l'octet de poids fort: 1111 xxxx (Usage Réservé)
 - Ainsi initialement chaque entité administrative (une entreprise, une collectivité, un opérateur...) recevait une (ou plusieurs) classe(s) d'adresses correspondant à cette classification. Évidemment avec l'essor d'Internet cette classification n'allait pas supporter le passage à grande échelle.
 - Quels sont les problèmes de l'adressage en classe ?

NE430 : routage.

- Problèmes :
 - Le morcellement en classes n'est pas assez granulaire.
 - Comment allouer un réseau pour 2000 stations ?
 - Attribution de toutes les classes C
 - ☀ Combien de routes de classes C au maximum pourraient être gérées par les routeurs de backbone Internet ?
 - Attribution de tout l'espace d'adressage IPv4

NE430 : routage.

- Problèmes :
 - Trop peu d'adresses pour les réseaux de grandes envergures :
 - Les classes A et B ne sont plus disponibles.
 - Ex : A qui est actuellement attribué 16.0.0.0, 17.0.0.0, 18.0.0.0 ?
 - Des réseaux IP de 2^{16} ou 2^{24} stations sont-ils adaptés au niveau liaison de données ?
 - Subnetting des classes A et B ex :
 - 15.1.0.0 255.255.0.0
 - 131.100.1.0 255.255.255.0

NE430 : routage.

- Whois :

NetRange: 17.0.0.0 - 17.255.255.255
CIDR: 17.0.0.0/8
NetName: APPLE-WWNET
NetHandle: NET-17-0-0-0-1
Parent: ()
NetType: Direct Assignment
OriginAS:
Organization: Apple Inc. (APPLEC-1-Z)
RegDate: 1990-04-16
Updated: 2012-04-02
Ref: <http://whois.arin.net/rest/net/NET-17-0-0-0-1>

OrgName: Apple Inc.
OrgId: APPLEC-1-Z
Address: 20400 Stevens Creek Blvd., City Center Bldg 3
City: Cupertino
StateProv: CA
PostalCode: 95014
Country: US
RegDate: 2009-12-14
Updated: 2011-03-08
Ref: <http://whois.arin.net/rest/org/APPLEC-1-Z>

NE430 : routage.

- Whois :

NetRange: 19.0.0.0 - 19.255.255.255
CIDR: 19.0.0.0/8
NetName: FINET
NetHandle: NET-19-0-0-0-1
Parent: ()
NetType: Direct Assignment
OriginAS:
Organization: Ford Motor Company (FORDMO)
RegDate: 1988-06-15
Updated: 2010-05-07
Ref: <http://whois.arin.net/rest/net/NET-19-0-0-0-1>

OrgName: Ford Motor Company
OrgId: FORDMO
Address: P.O. Box 2053, RM E-1121
City: Dearborn
StateProv: MI
PostalCode: 48121-2053
Country: US
RegDate:
Updated: 2011-05-17
Ref: <http://whois.arin.net/rest/org/FORDMO>

NE430 : routage.

- Des solutions ?
 - NAT (vu en cours Internet et Services)
 - L'allocation de plages d'adresses pour des réseaux privés a résolu temporairement le problème de la pénurie « potentielle » d'adresses IPv4.
 - La RFC 1918 puis 5735 et 6890 décrit les plages d'adresses allouées aux réseaux privés (et donc non routées sur Internet) utilisables avec la technologie NAT.
 - Récupération des adresses attribuées
- ☀ <http://www.ripe.net/internet-coordination/ipv4-exhaustion/ipv4-available-pool-graph>
- Ne plus tenir compte des classes : VLSM et CIDR
 - Passage à IPv6 (Cf chapitre suivant)

NE430 : routage.

- Variable Length Subnet Mask
 - Permet de définir des sous-réseaux autres que les sous-réseaux de classes comme vu précédemment. Avec cette nouvelle forme d'adressage, les classes n'existent plus,
 - ainsi un réseau de classe A: 116.0.0.0 255.0.0.0 peut être divisé en réseaux suivants:
 - 116.0.0.0 255.255.0.0
 - 116.1.0.0 255.255.0.0
 -
 - 116.255.0.0 255.255.0.0
 - Ou 2 réseaux de classes C
 - 192.168.0.0 255.255.255.0 et 192.168.1.0 255.255.255.0 regroupés en
 - 192.168.0.0 255.255.254.0
 - La notation est la suivante: <adresse de réseau>/n ou n représente le nombre de bit du masque de sous réseau (ici 16) - appelé aussi prefix - ce qui donne pour : 116.0.0.0 255.255.0.0 la notation suivante 116.0.0.0/16

NE430 : routage.

- Classless Inter Domain Routing (RFC ~~1519~~ 4632)
 - Avec la notion de classe, lors des échanges de routes, un routeur pouvait connaître le masque associé à un réseau par son appartenance à une classe ex :
 - 134.2.0.0 → classe B → 255.255.0.0 ou /16
 - Avec le VLSM l'adresse ne suffit plus pour connaître un masque, il faut l'inclure dans les informations échangées.
 - Modification dans le format des échanges des protocoles de routage pour inclure la valeur des masques (ex RIP)

NE430 : routage.

- Classless Inter Domain Routing
 - En réalisant l'aggrégation de plusieurs routes dans un supernet, on peut limiter le nombre d'entrées dans la table des routeurs de la DFZ.
 - Encore faut-il que les plages d'adresses soient distribuées avec une certaine logique, une structure administrative hiérarchique est alors mise en place: **RFC 2050 et suivantes**.

☼ A lire/consulter:

- <http://www.iana.org/numbers/>
- <http://www.ripe.net/ripe/docs/ripe-553>

☼ Effectuez une recherche sur les adresses PI, PA « Provider Independant » et « Provider Aggregatable » et leur utilisation.

NE430 : routage.

- Classless Inter Domain Routing
 - Le passage au VLSM provoque de nombreux changements dans les méthodes de routage notamment :
 - la nécessité de communiquer le masque de sous-réseau en plus du sous-réseau dans les messages de protocole de routage.
 - Des modifications algorithmiques: En classfull on pouvait faire une recherche exacte d'un prefix à partir de la classe. En classless il faut faire une recherche du plus long « prefix » ex : /22, /24, etc... En effet si plusieurs entrées dans la table de routage correspondent à l'adresse de destination d'un paquet, il faut choisir la plus spécifique (celle avec le plus long « prefix ») routage BEST MATCH.

NE430 : routage.

- Exemple :
 - Table de routage :
 - P1 192.168.0.0/15
 - P2 192.168.1.0/24
 - P3 192.168.1.32/28
 - P4 192.168.1.32/29
 - P5 192.168.1.0/27
 - P6 128.0.0.0/5
 - P7 192.128.0.0/9
 - Quel préfix pour
 - 192.168.1.45
 - 192.168.1.234,
 - 192.162.2.3,
 - 192.168.3.1 ?

NE430 : routage.

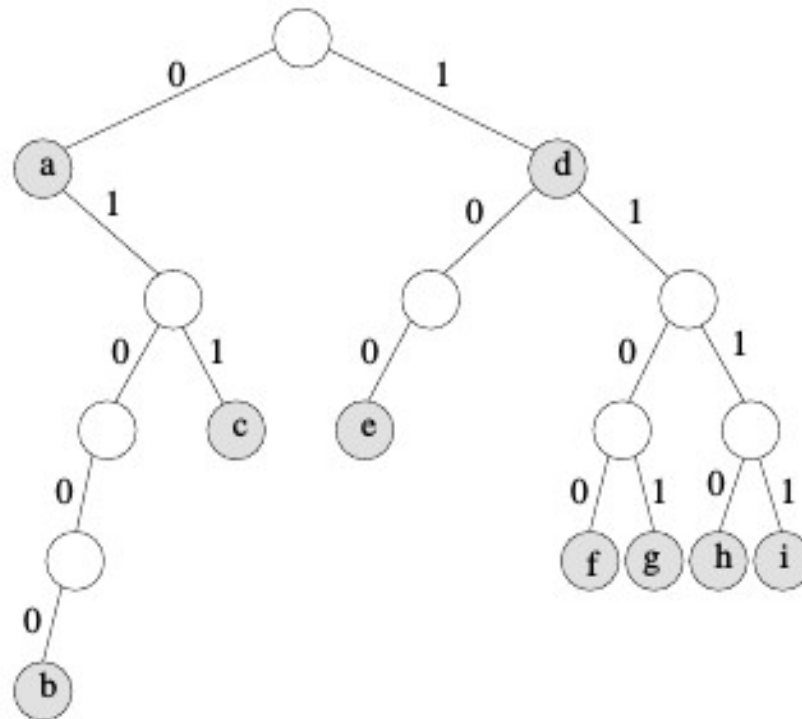
- Algorithmes ?
 - Avec actuellement (en 2018) plus de 750000 routes en DFZ, on peut comprendre que la recherche d'algorithmes performants de recherche du meilleur préfixe soit cruciale.
 - Cette recherche peut être très coûteuse en temps, ou coûteuse en mémoire (ce qui peut impliquer aussi une augmentation du temps de traitement (SRMA/DRAM/etc..))
 - les premiers algorithmes utilisaient les PATRICIA TRIE (notamment les implémentations BSD)
 - D'autres algorithmes comme les multibit tree / lulea sont possibles...
 - Actuellement les routeurs de DFZ utilisent des ASIC et mémoires dédiés à cette tâche et non plus des solutions « logicielles ».

NE430 : routage.

- Binary tree :

Prefixes

a 0*
b 01000*
c 011*
d 1*
e 100*
f 1100*
g 1101*
h 1110*
i 1111*

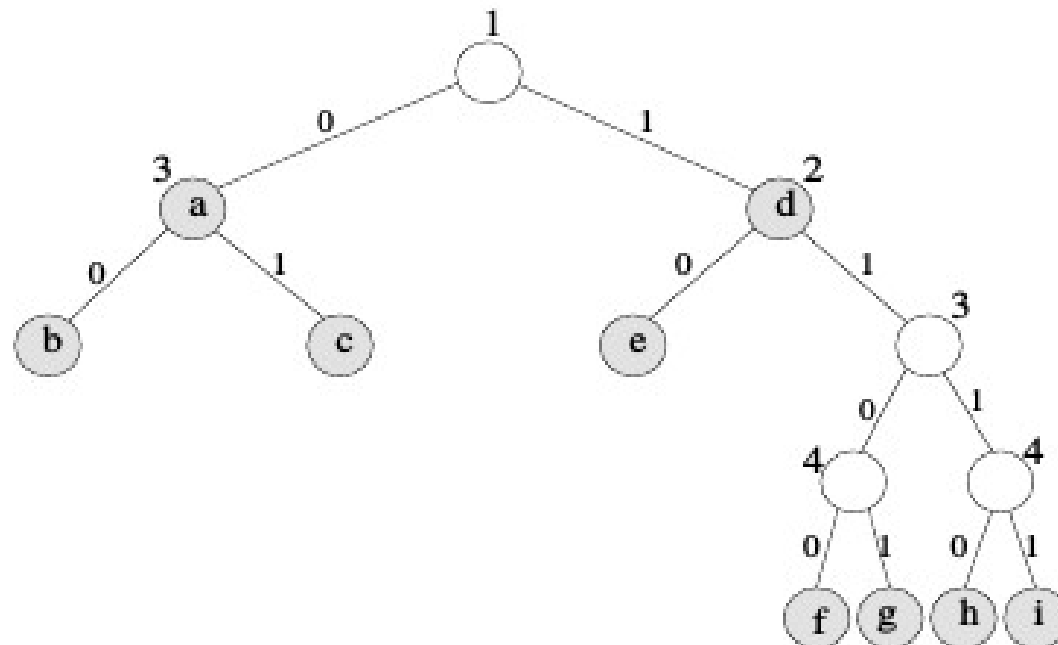


NE430 : routage.

- Patricia trie (historical BSD implementation):

Prefixes

a 0*
b 01000*
c 011*
d 1*
e 100*
f 1100*
g 1101*
h 1110*
i 1111*

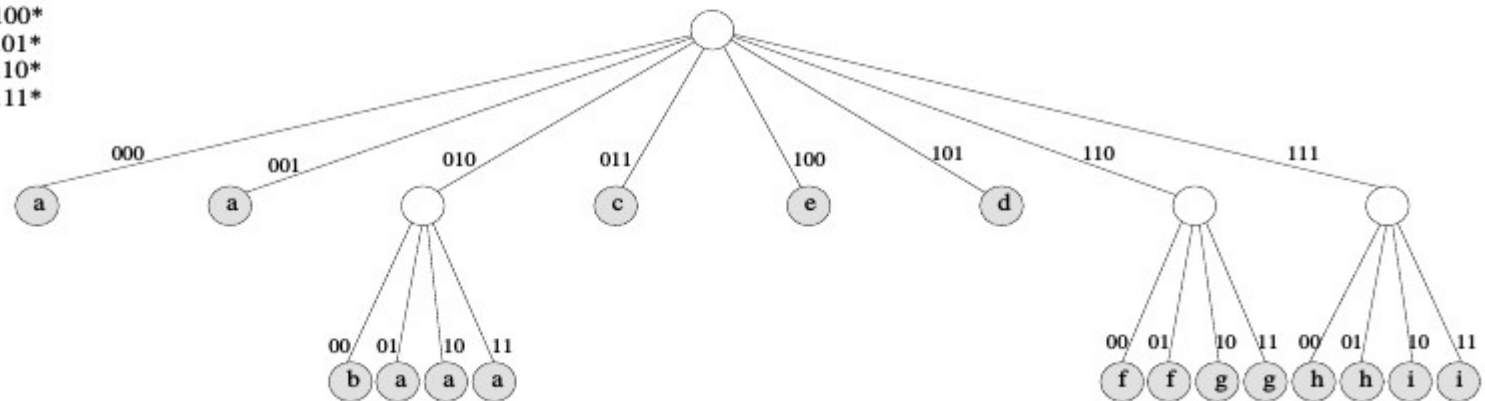


NE430 : routage.

- Multibit tree :

Prefixes

a 0*
b 01000*
c 011*
d 1*
e 100*
f 1100*
g 1101*
h 1110*
i 1111*



NE430 : routage.

- Home work !
- Chamillo (ou pas)
 - [Http://....](http://....)
- Date de rendu :
 - Fin du TP1



NE430 : routage.

- D'autres types de routage
 - Il existe différents types de routage, statique, dynamique, mais il existe aussi d'autres types de routage comme le routage par la source (source routing) ou le routage par politiques (policy based routing)
- Source routing :
 - Défini dans la RFC 791, le routage par la source est actuellement obsolète, car filtré par la plupart des routeurs/firewall actuels... cependant pour mémoire, il existe 2 types de source routing (loose et strict).

NE430 : routage.

- Strict source routing with record route :

```
+-----+-----+-----+-----//-----+
|10001001| length | pointer|      route data      |
+-----+-----+-----+-----//-----+
```

option IP de Type=137

- Quand une station S veut emettre un paquet vers D en passant par G1,G2,G3,...
(en strict on doit spécifier tous les noeuds)
 - Elle emet un paquet de S vers G1 contenant l'option
 >>G2, G3, ..., D
- Arrivé à G1 ce paquet est transmis de S vers G2 contenant l'option
 G2, >>G3, .. , D
- etc...

NE430 : routage.

- Loose source routing with record route :

```
+-----+-----+-----+-----//-----+  
|10000011| length | pointer|      route data      |  
+-----+-----+-----+-----//-----+
```

Type=131

- Quand une station S veut emettre un paquet vers D en passant par G1,G2,G3,... (en loose on ne spécifie qu 'un sous ensemble)
 - Elle emet un paquet de S vers G1 contenant
 >> G2, G3, ..., D
 - ☀ Y a t-il différent type d'option dans un paquet IP, pourquoi ce type a t-il le bit de poids fort positionné à 1 ?

NE430 : routage.

- Policy based routing :
 - Capacité de certains routeurs à ne pas considérer que la seule adresse destination comme critère de choix de routes, mais à se baser sur d'autres critères.
 - Exemple :

<http://www.google.fr/search?q=cisco+understanding+policy+based+routing>

NE430 : routage.

- Problème de la station finale (routage statique)
 - Le plus souvent une station finale n'est configurée (soit manuellement, soit automatiquement par un serveur DHCP) qu'avec une route par défaut vers un routeur appartenant à son sous réseau. Cette configuration quoique pratique et simple à mettre en place pose particulièrement deux problèmes si le sous réseau dispose de plusieurs routeurs

☀ Quelles autres informations une station peut-elle obtenir via DHCP ?

NE430 : routage.

- Problème de la station finale (routage statique)
 - Optimisation des routes
 - Du trafic supplémentaire peut être engendré sur l'interface d'un routeur de manière inutile.
→ solution: utilisation d'ICMP Redirect. (attention en fonctionne que sur le même sous-réseau.) R1 envoie l'information à F d'utiliser R3.
 - Attention: l'utilisation d'ICMP redirect se fait sans authentification, il est donc souvent considéré dangereux l'acceptation des ICMP redirect

NE430 : routage.

- Problème de la station finale (routage statique)
 - Tolérance aux pannes
 - En effet si le routeur par défaut (le routeur vers lequel pointe la route par défaut) n'est plus accessible, la machine finale se trouve dans l'incapacité d'envoyer et de recevoir même si d'autres routeurs sur le sous réseau serait capable de prendre en charge le trafic.
→ HSRP, VRRP
 - ☀ Pour aller plus loin faire une recherche sur CARP et GLBP (cisco) permettant le partage de charge entre plusieurs routeurs redondants...

NE430 : routage.

- Les protocoles de gestion de la redondance
 - HSRP Hot Standby Redoundant Proctocl (RFC 2281)
 - VRRP Virtual Router Reduncy Protocol (RFC 5798)
 - Ces 2 protocoles s'appuient sur la notion d'adresse IP virtuelle associée à un instant donné à 1 des routeurs (le routeur actif).
 - Ce routeur actif envoie régulièrement en diffusion de groupe son niveau de priorité, s'il tombe ou que sa priorité baisse parce qu'une interface est en panne, un routeur passif devenu plus prioritaire peut reprendre le contrôle de l'adresse IP virtuelle.

☀ Comment est géré le lien avec le cache ARP de chacune des stations ?

NE430 : routage.

- ICMP router discovery (RFC 1256) Obsolète ??
 - Un routeur peut envoyer de façon périodique un message ICMP de type 9 et de code 0 (en multicast ou broadcast) afin d'annoncer sa présence incluant son et/ou ses adresses, ainsi qu'un niveau de préférence et une durée de vie.
 - Une machine finale peut envoyer un message de sollicitation de type 10 et de code 0 (en multicast ou broadcast) pour forcer une annonce de la part des routeurs.
 - Attention le protocole n'inclut aucune notion d'authentification

NE430 : routage.

- Autres utilisation d'ICMP pour le routage
 - Type 0 et 8 : Echo request/reply
 - Type 5 : redirection (hote ou reseau)
 - Type 3 : Destination unreachable (hote, reseau, DF, etc..)
 - Type 11 : TTL Exceeded.

NE430 : routage.

- Transparent Subnet Gateways
 - Adapté pour des stations n'ayant pas de gateway configurées (RFC 1027)
 - Attention ce mécanisme n'est pas recommandé (notamment pour les Tps!!)
 - Ne connaissant pas de gateway on indique comme route par défaut une interface, la station fera des délivrances locales

☀ Comment doit se comporter la Gateway ?

Destination	Gateway	Genmask	Iface
0.0.0.0	0.0.0.0	0.0.0.0	eth0

NE430 : routage.

- Le routage dynamique
 - Attribution par l'IANA (via les RIR) de numéro d'AS.
 - AS : Autonomous System - une définition couramment utilisée est un ensemble d'équipements actifs sous une même responsabilité administrative et technique
 - Numéro d'AS sur 16 puis 32 bits.
 - On distingue deux catégories de protocoles de routage
 - Inter AS : BGP4 utilisé pour le routage Internet.
 - Intra AS : RIP, OSPF, ... pour le routage à l'intérieur d'une entreprise, d'un campus, etc...

NE430 : routage.

- Organisation du routage Internet
 - Tier-1 : opérateur participant au coeur d'internet (liste restreinte d'opérateur) qui échange entre eux trafic et routes « gratuitement »(peering).
 - Tier-2 : opérateur achetant du transit au tier-1 et effectuant du peering entre tier-2.
 - Tier-3: opérateur achetant du transit uniquement.
- ☀ Pour aller plus loin: Les échanges se font généralement dans des points de peering
lire/rechercher de l'info sur francelIX, LINX, PAR-IX, etc..