



INTERCONNEXION DES SYSTÈMES

INTERNET

1

2A Apprentissage Informatique & Réseaux

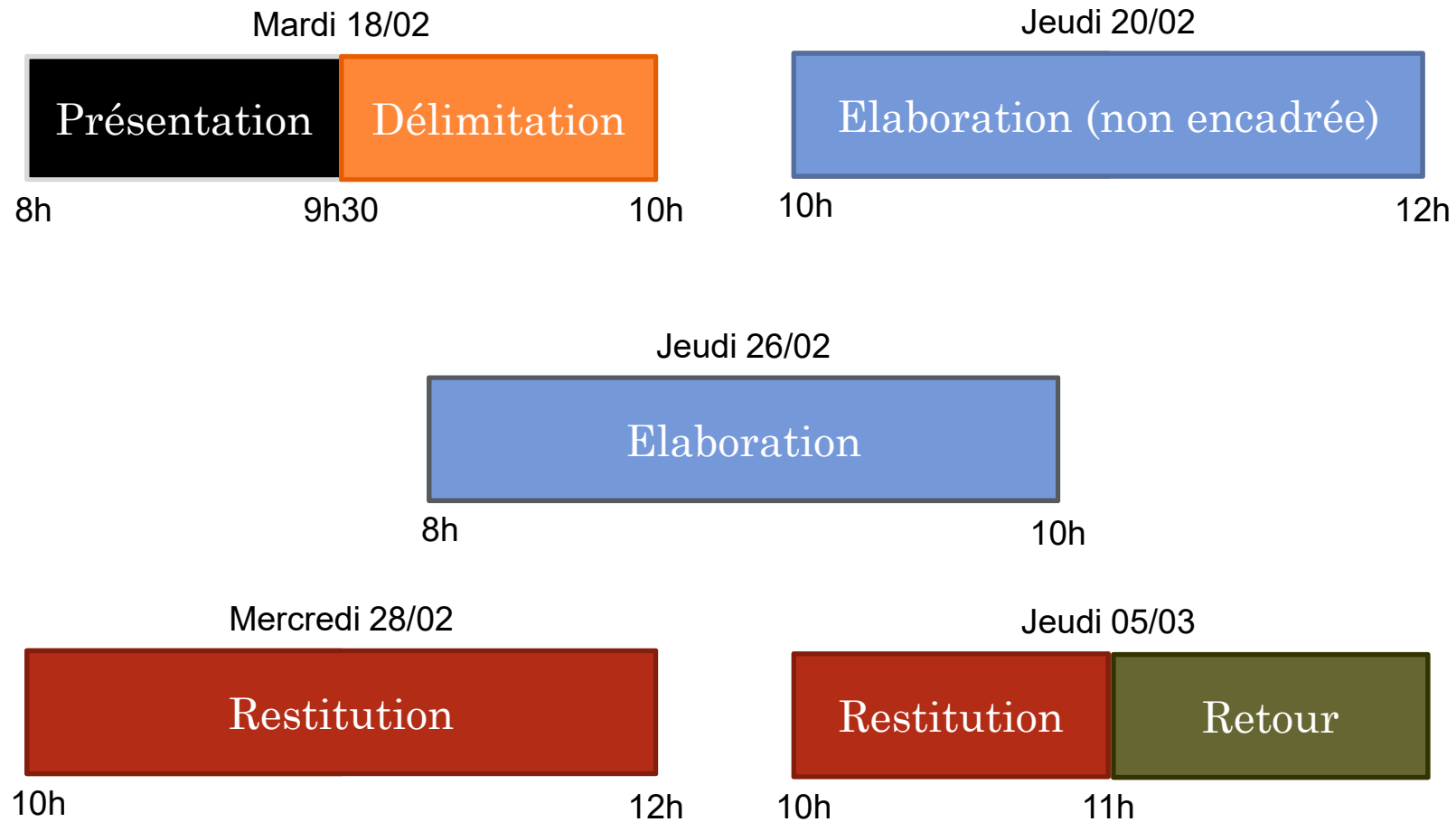
Julien Fasson – julien.fasson@enseeiht.fr

Et la promo 2IR – 2020

PRINCIPE DE LA CLASSE INVERSÉE

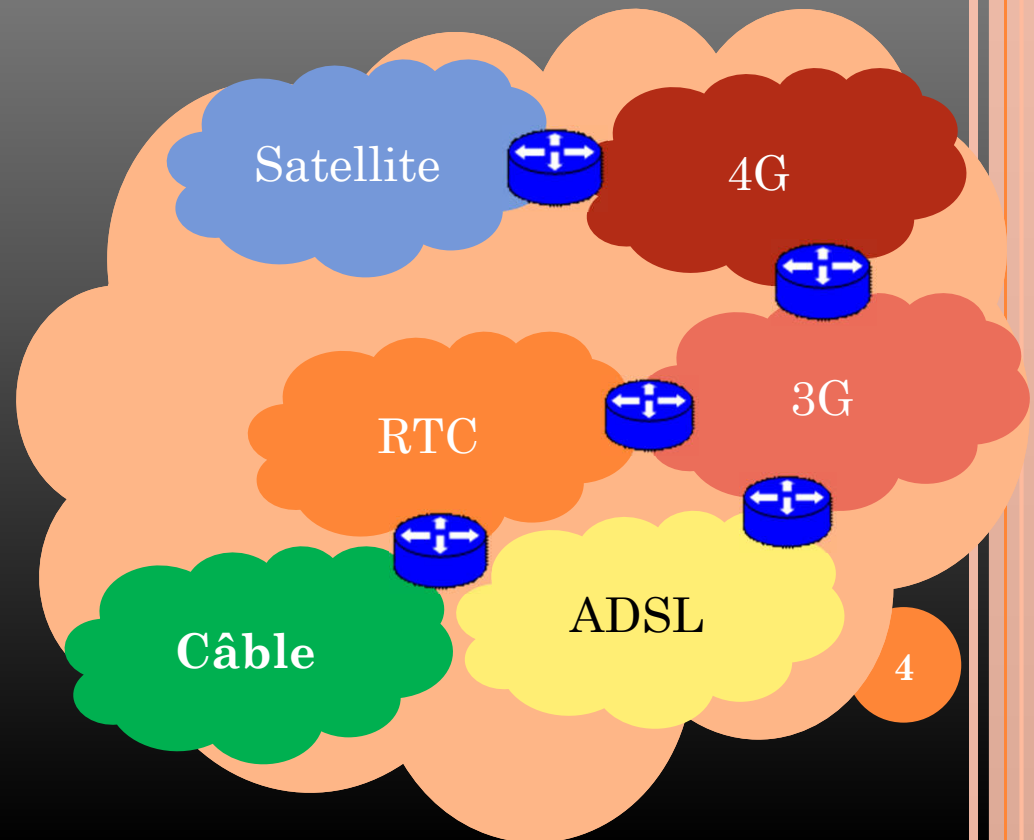
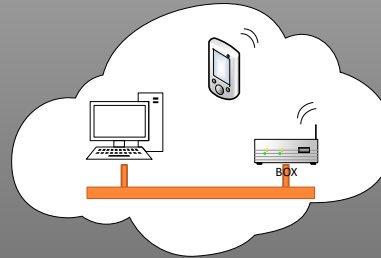
- Délimiter un cadre de travail
 - *Brainstorm*
 - Objectifs
 - Plan de cours
- Elaboration du contenu par les étudiants
 - Répartition
 - Travail en groupe ou individuel
- Restitution du travail
 - Aux autres étudiants
 - Et à l'enseignant
 - Questions
 - Calibrage en temps
- Intégration finale

PLANNING



VOUS AVEZ DIT « *RÉSEAUX* »?

- Un réseau?
- Des réseaux?
- Un réseau de réseaux?
- Et l'interconnexion?



RAPPELS SUR INTERNET

○ Définir Internet

- Temporel
 - Hier
 - Aujourd'hui
 - Demain
- Commun
- Technologique

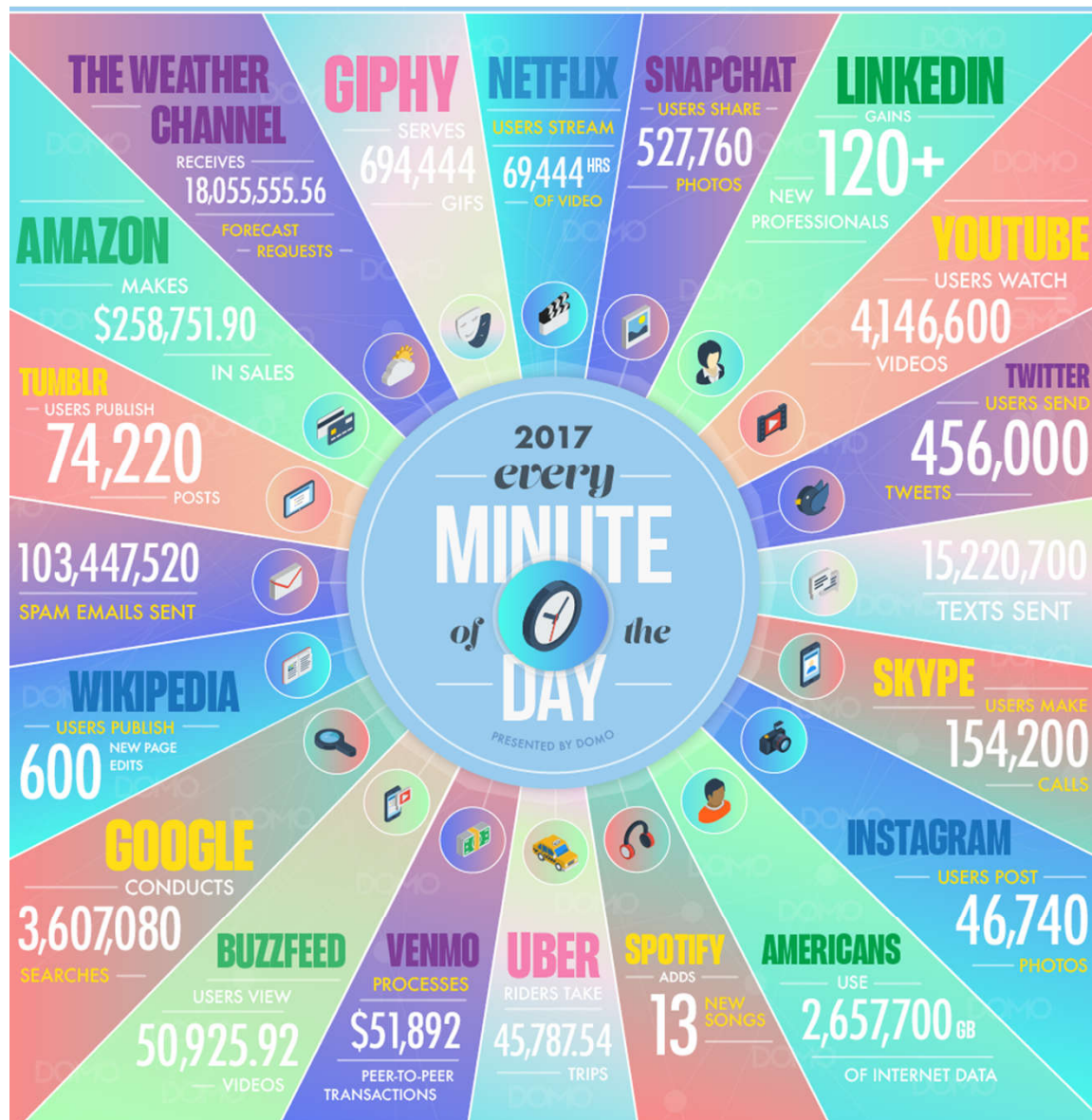
RAPPELS SUR INTERNET

○ Genèse :

- 1957 – Spoutnik entraîne la création de l'ARPA (Advanced Research Projects Agency)
- 1967 – Lancement du projet ARPANET
- 1969 – ARPANET (4 machines)
- 1971 – Premier mail (14 machines)
- 1972 – Démonstration officielle (40 machines)

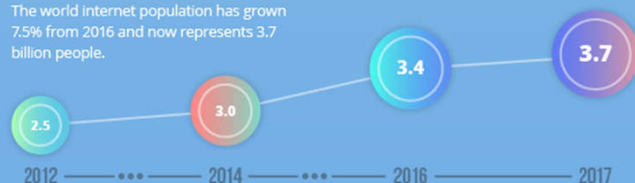
○ Avènement :

- 1974 – TCP/IP première proposition (Vinton Cerf & Robert Kahn)
- 1981 – ARPANET (213 machines)
- 1983 – TCP/IP protocoles officiels d'ARPANET
- 1983 – DNS (562 machines)
- 1984 – ARPANET (1024 machines)
- 1988 – Internet worm de R Morris (10% de 60 000 machines)
- 1991 – Gopher, World Wide Web
- 2001 – 125 888 197 machines répertoriées
- 2017 – 3,5 milliards d'utilisateurs



2017

The world internet population has grown 7.5% from 2016 and now represents 3.7 billion people.



With each click, swipe, share, and like, businesses are using data to make decisions about the future. Domo gives everyone in your business real-time access to data from virtually any data source in a single platform for smarter decision-making at any moment.

Learn more at domo.com

PLAN

Introduction

Partie 1 – IP un outil d'interconnexion

*Les routeurs
IP sur tout
Un outil insuffisant*

Partie 2 – Outils et solutions IP

*Les tunnels
Middleboxs*

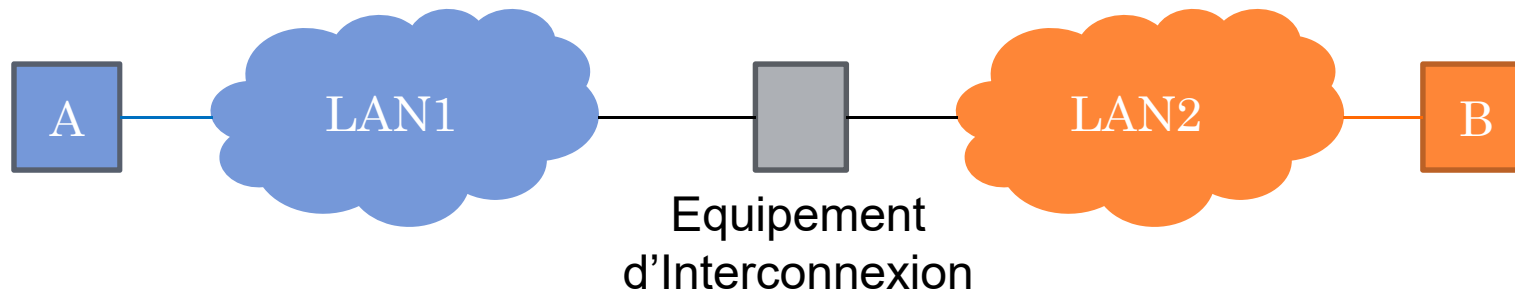
Conclusion

INTRODUCTION

- D'où vient le besoin d'interconnexion?
- D'où vient le problème que pose l'interconnexion?

INTRODUCTION

- Limites de l'interconnexion de niveau 2



- Question de l'extension à d'autres réseaux.

INTRODUCTION

- Pourquoi passer du niveau 2 au niveau 3?
 - Limitations
 - Englober les problèmes d'hétérogénéité
- Passage
 - d'un monde opérateur homogène
 - Réseaux d'opérateurs
 - À un monde hétérogène
 - Réseaux informatiques
 - Mode datagramme

1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

PLAN

1 – IP, un outil d'interconnexion

1.1 – Routeurs

1.2 – IP sur tout

1.3 – Manques, besoins et limites

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.1 ROUTEURS

- Quels sont les problèmes d'interconnexion pour le réseau?
 - Notion d'adressage
 - Notion de transfert de bout en bout

- Question d'adressage
 - Que représente une adresse?
 - Avantages
 - Limites

- Qu'appelle t'on le routage dans IP?
 - Différence entre algo de routage et protocole de routage

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.1 ROUTEURS

- Routeurs = cœur de l'interconnexion IP?
 - Fonctionnement/Principe
 - Pourquoi?
 - Intégration de l'hétérogénéité

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT

- Modèle IP d'interconnexion = IP sur LAN



- Exemples
- Encapsulation
 - Question du coût de l'encapsulation
 - Question d'utilité de l'encapsulation
 - Question de multiplexage

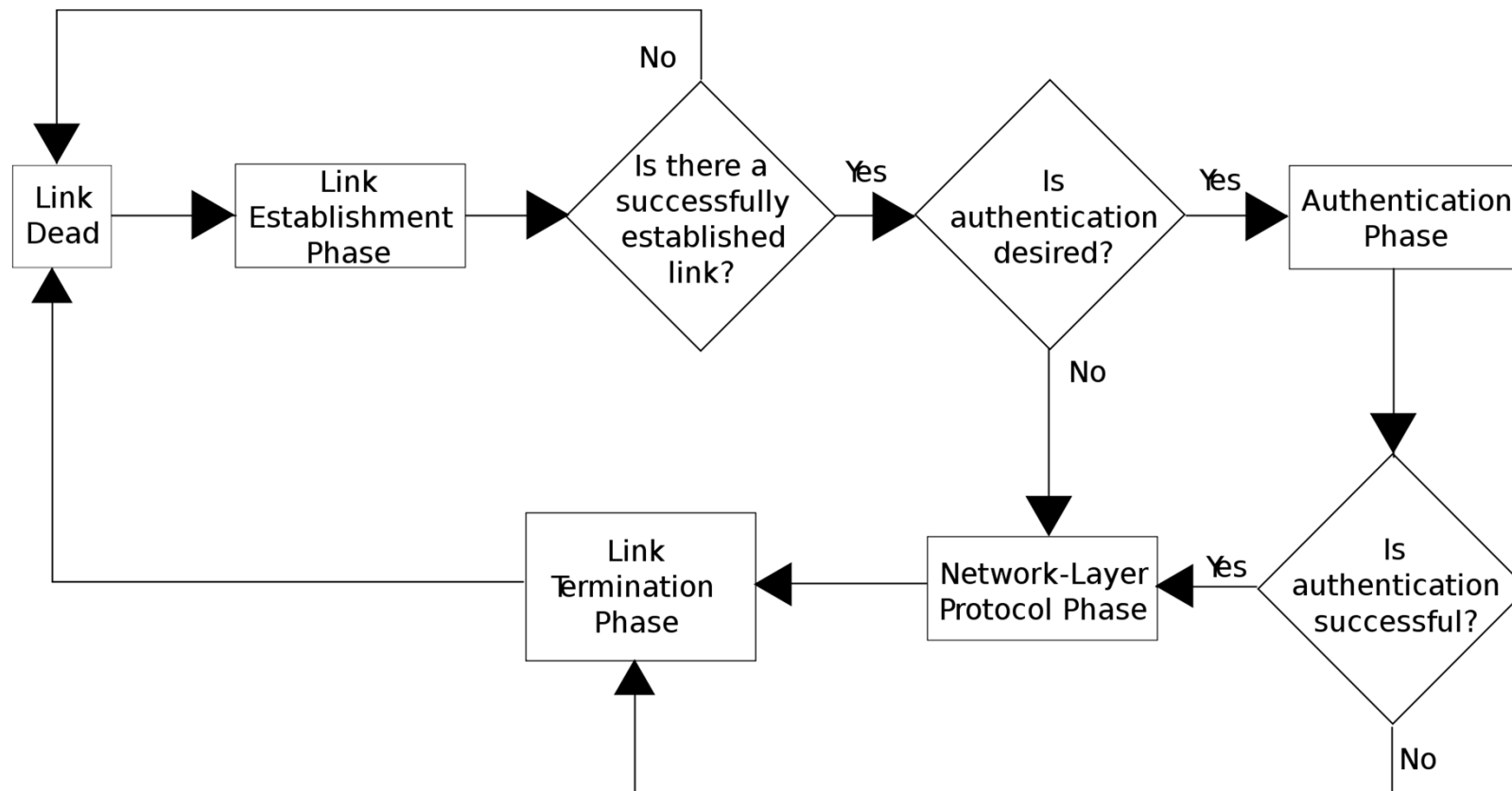
PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT

- IP sur liaison série
 - Besoins
 - Que fait IP?
 - Que faut-il pour qu'IP fonctionne?
 - Exemples:
 - HDLC, LAP, PPP

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT



PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT

- Une première conclusion
 - ✓ **A** – IP s'appuie fortement sur le niveau 2 pour l'interconnexion
 - B** – IP ne demande rien, il interconnecte tout tout seul!
 - ✓ **C** – Le niveau 2 doit permettre d'acheminer l'information
 - ✓ **D** – IP est une solution par encapsulation
 - E** – L'adressage IP est un problème pour l'interconnexion
 - ✓ **F** – IP ne fait pas forcément grand-chose, son atout est son omniprésence.

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT

- IP sur MAN et sur WAN



- Exemples
 - MetroEthernet, X25, ATM, FR, SDH, SONET, PDH, ...
 - IP = couche de convergence?
 - Redondance de fonctionnalités de niveau 3?
 - Encapsulations
 - Résolution d'adresses
 - Modes de communication différents
- Pas tout à fait/ Pas vraiment / Non

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT

- Illustration IP sur ATM



- Besoins

- Etablir/choisir un VP/VC
 - Résolution d'adresse
 - Etablissement
- Encapsulation

- Deux couches d'adaptation!

- AAL5
- Classical IP

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.2 IP SUR TOUT

○ Conclusion

- A – IP est la couche de convergence nécessaire et suffisante
- B – IP ne sert à rien, vive ATM!
- ✓ C – IP requiert une configuration, une adaptation, souvent spécifique au niveau sous-jacent.
- D – IP devrait intégrer une couche d'adaptation générique pour permettre une interconnection transparente.

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

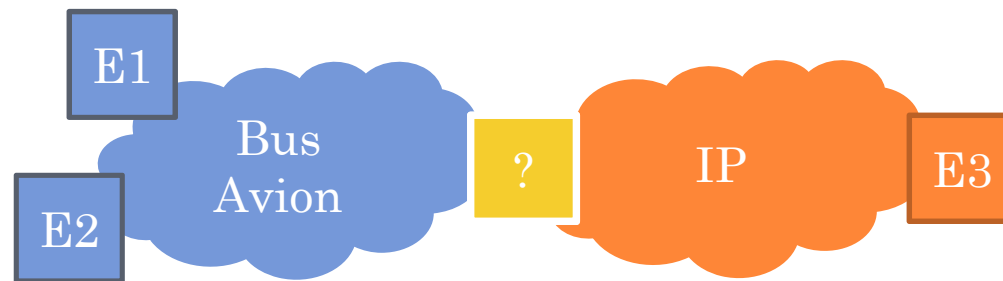
1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

- « On met de l'IP et ça marche! »
- Pourquoi ce postulat est-il vraiment à nuancer?
 - Brainstorm

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

- L'empreinte du passé
 - Technologie non IP
 - Technologie ne supportant pas IP
 - Equipements terminaux
 - Ex: Embarqué



- Interconnexion de technologie non IP à travers IP
 - Question de QoS
 - Comment assurer une QoS sur IP?

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

- IP ou IPs?
 - IPv4
 - IPv6
 - Multicast IP
 - Exemple: Mbone
- Plusieurs acteurs
 - Notion d'AS
 - Entités administratives
 - Interconnexion entre AS
 - Peering
 - Relation Commerciale
 - Adressage
 - Privé
 - Public
 - Politique

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

- Evolutions
 - Technologies
 - Coexistence
 - Pas une seule solution
 - Utilisateurs
 - Nombres
 - Besoins des utilisateurs
 - Dynamique
 - Applications évoluent très vite
 - Cœur du réseau évolue très lentement
 - IP fait bloc
- IP ne fait pas tout... il fait peu

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

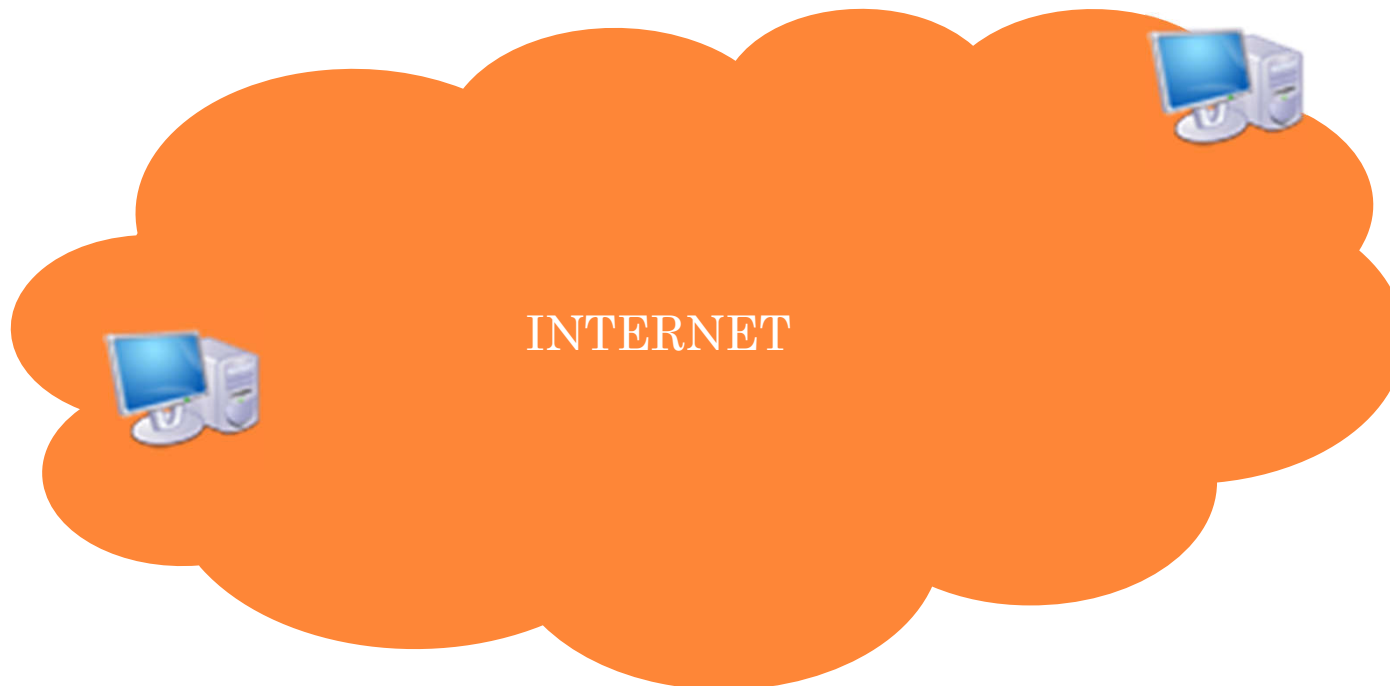
1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

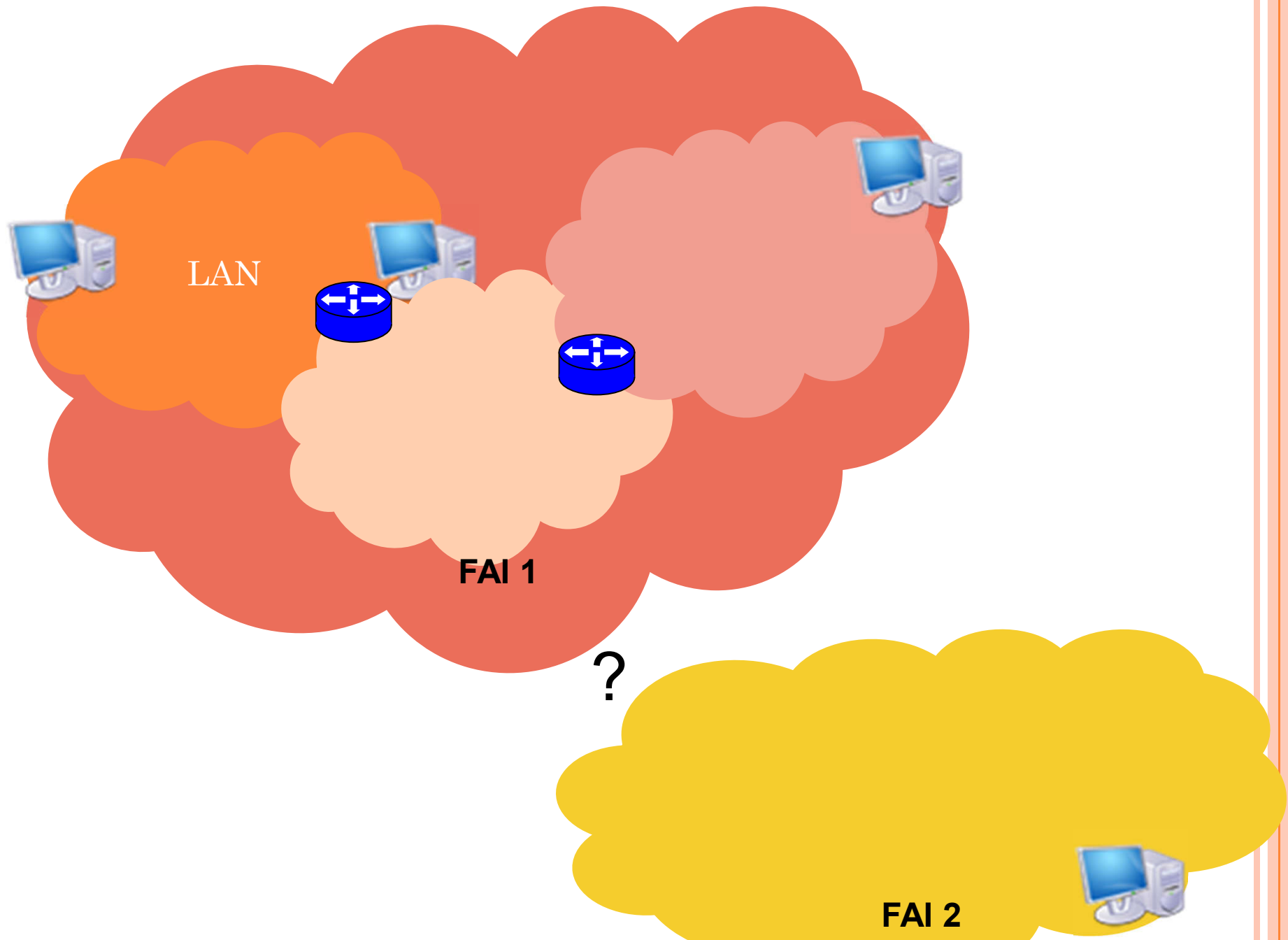
- IP n'est pas suffisant en soit car:
 - Tout n'est pas encore IP
 - Hétérogénéité des supports
 - Hétérogénéité d'IP lui-même
 - De très nombreux acteurs avec leur propres règles, besoins et solutions
 - De multiple cas d'utilisations
- INTERNET est
 - Une solution d'interconnexion globale
 - Une multitude de problèmes d'interconnexion

PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

- INTERNET - Un unique réseau mondial?
 - Un lien entre toutes les entités du monde
 - Dans un réseau constituait de réseaux
 - Le plus grand problème d'interconnexion





PARTIE 1 – IP UN OUTIL D'INTERCONNEXION

1.3 UN OUTIL INSUFFISANT

○ Un réseau commun?

- Du réseau local
- Par un sur-réseau d'un FAI
 - Réseaux d'accès
 - Quid des technologie hétérogènes?
 - ADSL, 2G, 3G, Fibre optique, Ethernet, wifi, ...
 - Interconnexion de réseaux
 - Quid des routes?
- A un réseau de réseaux
 - Des entités différentes
 - Gestion ?
 - Qui paie?
 - Où s'interconnecter?
 - Comment?

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

PLAN

2 – Outils et solutions IP

1.1 – Tunnels

Principe des tunnels
Illustration en accès
VPNs
Implantations
Exemples IPv4/IPv6 (TD)

1.2 – Middleboxes

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS*

PRINCIPE

- Encapsulation pour passer à travers
 - Un autre réseau
 - Une autre technologie
 - Un autre domaine

- Abstraction des éléments traversés
 - Tout ne devient qu'un lien point à point
 - Transparent pour le protocole encapsulé
 - Peut-être invisible pour le protocole « encapsulant »
 - Construction d'un sur-réseau

→ Notion de tunnel

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS*

Cas d'utilisations

- Réseaux d'accès
 - Technologies très hétérogènes
 - Acteurs nombreux (sous location)
 - Auto-configuration de l'utilisateur
- Réseaux privés
 - Virtual Private Network
 - Abstraction de la réalité d'interconnexion
 - « Sécurité »
- Déploiement de nouveaux protocoles
- Gestion des flux intra-opérateur

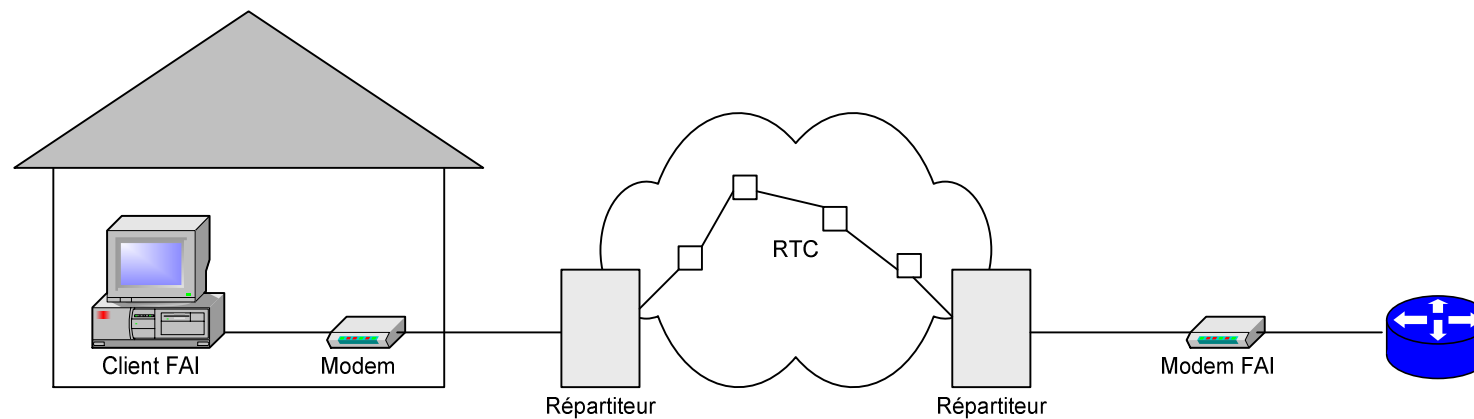
→ Très variés et à toutes les sauces

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS*

Réseaux d'accès I

- Modem 56K via le RTC



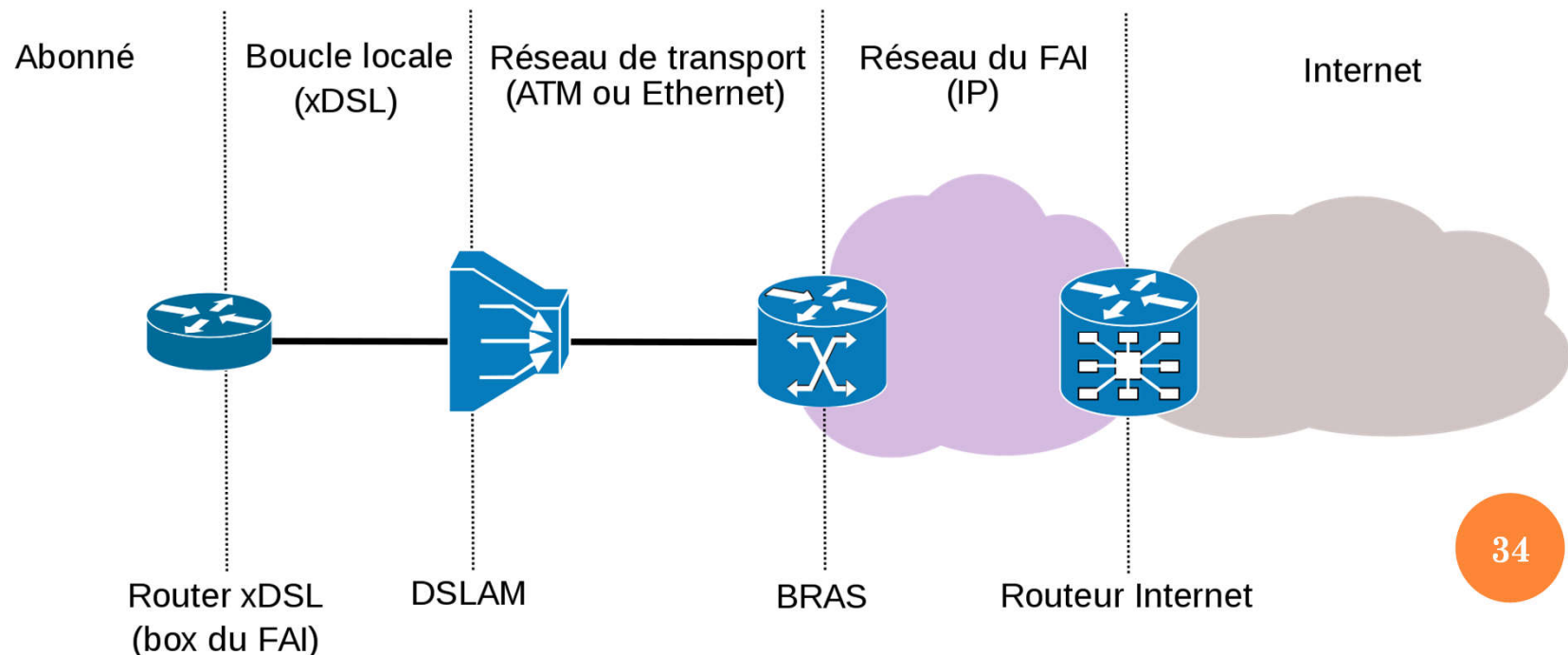
2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 TUNNELS

Réseaux d'accès II

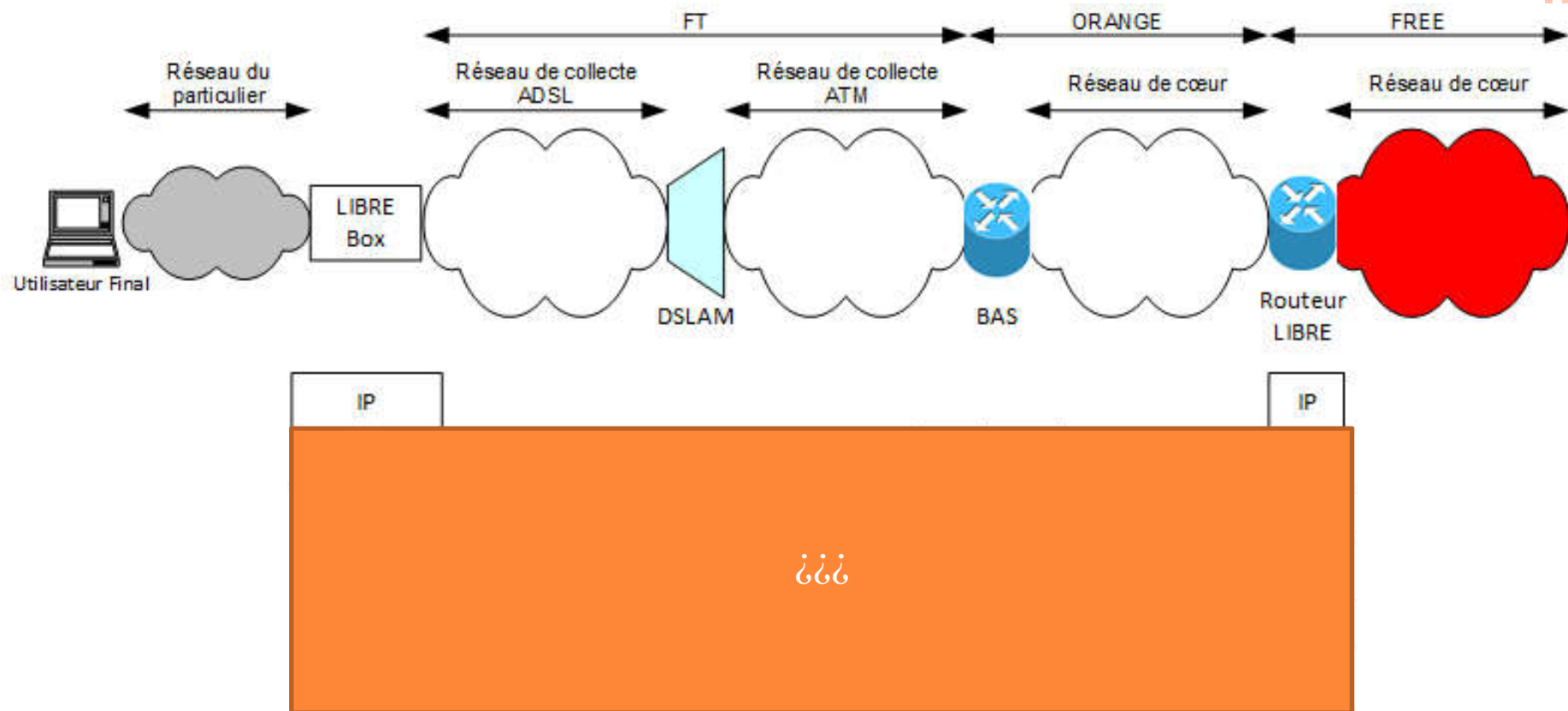
○ ADSL

- Hétérogénéité des technologies
- Différents acteurs



2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 TUNNELS



2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS*

Adaptations de PPP

- PPPoE
- PPPoA
- Au final PPP n'est pas plus une couche de convergence qu'IP.

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS*

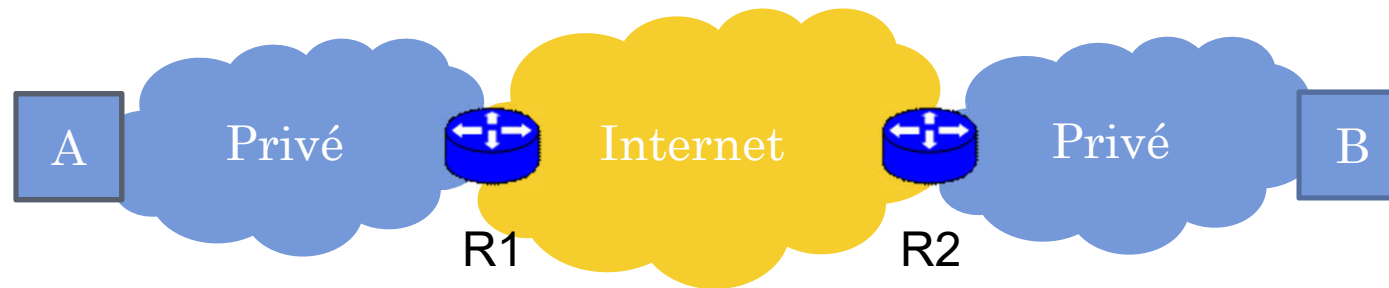
L2TP (Layer 2 Tunnel Protocol) [RFC2661]

- Cisco + Microsoft 1999
- Rôles
 - Transporter des tunnels PPP pour dissocier l'extrémité du lien point à point (niveau 2) et la session PPP (cf. notre cas: dans PPP le point de terminaison de la liaison et serveur d'accès sont confondus)
 - Mise en œuvre de VPN sur IP
- Entités
 - L2TP Access Concentrator
 - L2TP Network Server

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS*

Virtual Private Network



- Outils:

- Réseaux:

- IPsec, GRE, ...

- Applicatif

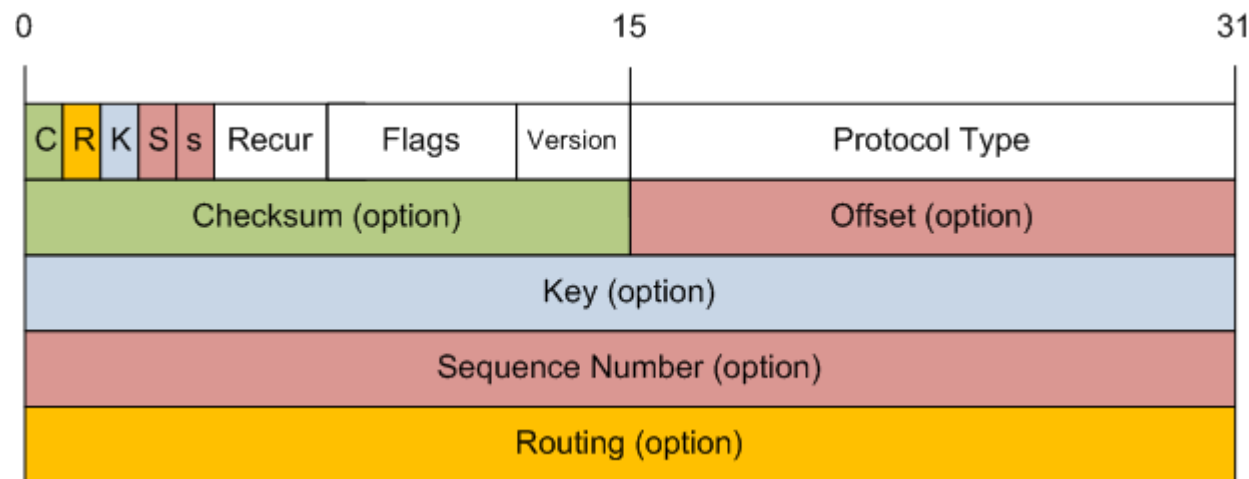
- Openvpn (au dessus de TCP/UDP avec openssl)
 - SSH
 - HTTP
 - DNS
 - BGP

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 TUNNELS ET IMPLANTATIONS

○ GRE

- Dernier RFC 2890 en 2000 par CISCO
- Objectif = encapsuler un protocole dans un autre
 - Aussi appelé IP Tunneling
- Un en-tête très simple



○ Illustration vue en TP

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS ET IMPLANTATIONS*

- Implantation par une interface virtuelle
 - Sous linux
 - Tun (network Tunnel)
 - Emulation de niveau 3
 - Tap (network Tap)
 - Emulation de niveau 2
 - « Véritable » VPN

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.1 *TUNNELS ET LIMITES*

- Coût d'une solution par encapsulation
 - Overhead
 - Redondance
- « Darknetisation »
- Préconfiguration
 - Solution difficile à automatiser
 - Point d'entrée
 - Point de sortie
 - Au cas par cas

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.2 MIDDLEBOXES

- Première définition
 - Points d'entrée et de sortie d'un tunnel
- Middlebox [RFC 3234]
 - Firewall/NAT
 - IDS
 - Load Balancing
 - QoS (WAN optimizers)
- Principe = lieu de l'interconnexion
 - Gestion de l'hétérogénéité
 - Rarement directement au niveau des *End-Users*
 - Mais pas que de l'interconnexion!

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.2 *MIDDLEBOXES*

- Equipements permettant
 - Aggrandir Internet => Network address translators
 - Sécuriser Internet => Firewalls, VPNs, IDS
 - Interconnecter => Tunnels, passerelles applicatives
 - Améliorer => passerelles applicatives

- Objectifs
 - Résoudre certains problèmes d'IP

- Limites
 - Introduit de nouveaux problèmes...

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.2 *MIDDLEBOXES*

- Neutralité du net et middleboxes
 - Définir la neutralité des réseaux
 - La neutralité du net est-elle une vérité? Un but?
 - Pourquoi les middleboxes vont-elles à l'encontre? (et l'interconnexion du fait?)

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

2.2 *MIDDLEBOXES*

- Les problèmes d'IP
 - Manque d'adresses IP
 - Mobilité des End-users
 - Sécurité
 - Performances
 - QoS

- Et les middleboxs
 - NATs
 - Ancres
 - Firewalls/IDS
 - CDN, prefectchers, proxy web
 - Load-Balancer

2 – OUTILS ET SOLUTIONS DU MONDE IP

EXERCICES

- Privé/Public
 - Illustration par le NAT
 - Une question: où apparaît l'adresse IP?

- IPv4/IPv6
 - Une première solution
 - Discussion en TD

CONCLUSION

○ Les forces d'IP

- son omniprésence actuelle
- il propose une forme d'interconnexion sans beaucoup de prérequis

○ Les limites d'IP

- seul, il est rarement suffisant (couches d'adaptation)
- redondances des fonctionnalités
- coût des solutions par encapsulation

○ Solution classique

- Méthode par encapsulation => tunnel

CONCLUSION

○ Réflexions:

- Tricher pour la bonne cause reste il tricher?
- L'amélioration ne pourrait-elle-même entraîner des défauts pires que ce qu'elle apporte?

BRAINSTORM

- Accès Entreprise:
 - WAN
 - SD-WAN
- Tunnels
 - DNS
 - Tun/Tap
 - OpenVPN
 - Ipsec
 - +virtualisation
- IPv4/IPv6:
 - Dialogue (Traduction)
 - Traverser IPv4
 - Traverser IPv6
- Traduction IP/monde non IP

PLAN

PLAN

Introduction

Partie 1 – Interconnexion et IP

Les routeurs comme outil d'interconnexion
Les besoins
Pourquoi IP n'est pas suffisant

Partie 2 – Différents problèmes d'interconnexion IP

2.1 Les réseaux non IP
2.2 Interconnexion à travers un réseau non IP
(ou interconnexion de deux non IP à travers IP)
2.3 Interconnexion à travers un réseau IP

Partie 3 – Outils et solutions du monde IP

3.1 Solutions opérateurs | 3.1 Middlebox
3.2 Solutions entreprises | 3.2 VPN

Conclusion

NOTES

- Routage IP et hétérogénéité
 - Cmt résoud-il le problème?
 - (unicité de l'adresse IP)
 - Datagrammes peu changé (TTL)
 - Mais ça implique quoi?
 - Adressage unique
 - Tout le monde l'utilise
- Comment faire de l'IP sur tout?
 - IP sur liaison Pt-à-Pt
 - IP sur LAN
 - ARP
 - Encapsulation
- La solution d'IP, c'est l'encapsulation?

NOTES SUR LES USE CASES

- Cas d'interconnexion de niveau2
- Cas d'interconnexion avec IP d'un autre WAN...
 - Deux cas:
 - On traverse un WAN mais ce n'est pas la destination
 - On veut communiquer avec le WAN...
 - Deux choses non IP communique via un réseau IP
 - On fait de l'IP partout
 - Mais si on ne peut pas?
 - Problème de la QoS
 - Utilisation de TCP en sous couche?

NOTES SUR LES OUTILS

○ Middlebox RFC 3234

- Firewall/NAT
- IDS
- Load Balancing
- QoS (WAN optimizers)

○ Tunnels (overlayer)

- PPP
- L2TP
- GRE
- IPsec
- Et d'autres...
- Cas d'applications:
 - Tun
 - Tap
 - VPN

○ Brainstorm:

- Généralités:

- Homogénéité? Non
- Diversité?
 - Opérateurs différents
 - Technos différentes
 - Evolutions des technos
 - « Types de réseaux »: privés et publics
 - Flux et QoS
 - Géopolitique du réseau
- IP est il une solution?
 - IP ça ne fait pas tout (dixit Jason)

○ Cas d'utilisations (Use Cases)

- Le cas classique IP sur machine d'extrémités et technos différentes
 - Mais que ce passe t'il quand une machine ne supporte pas IP?
 - Une techno ne supporte pas IP (ça revient au même?)
- IP sur un autre niveau réseau
 - Technologie autre
 - IP over IP
 - Versions différentes d'IP (IPv4/IPv6/multicast)
 - Adressage public/privé
 - VPN
 - Interconnexion d'un opérateur via un autre opérateur

- IP over Everything
 - Un objectif
 - Est-ce suffisant pour résoudre tous les pbs d'interconnexion d'Internet?
 - Ex: l'accès ADSL
 - IP a de nombreux pbs d'interconnexion
- Outils:
 - ARP /PPP
 - Middlebox
 - VPN openVPN/PPP/L2TP/GRE/Ipsec
 - BGP/OSPF
 - Applicatif (DNS?)
 - PWE3? / VXLAN?
 - Tun/tap