



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Conception, déploiement et exploitation de réseaux

1. Introduction: les réseaux

Contenu

- Pourquoi un cours de conception/planification ?
- Evolution et **durabilité** des réseaux
- Organisation, buts et objectifs du cours.
- Qu'est ce qu'un réseau ?
 - Types de réseau.
 - Qu'y-a-t-il de commun ?
 - Existe-t-il des synergies ?
- Réseaux de télécom.
 - Historique.
 - Aspects permanent à travers l'histoire.
 - Aspects novateurs.
 - Y-a-t-il une convergence ?
- Réseaux fixes, mobile et centraux de calculs (datacenters):
 - Que se passe-il ?

1. Pourquoi un cours de planification ?

- **Definition** (Wikipedia):
Network planning and design is an iterative process, encompassing topological design, network-synthesis, and network-realization, and is aimed at ensuring that a new telecommunications network or service meets the needs of the subscriber and operator.
The process can be tailored according to each new network or service.

Constatation: les réseaux télécom sont en perpétuel redimensionnement et réadaptation aux nouvelles technologies. Ils connectent de plus en plus d'éléments à des débits de plus en plus rapides. Il y a peu, la bande passante était de **64 kbit/s**, actuellement elle est de **1Gb/s** (Salt: 10Gb/s)

La loi de Moore pour le trafic télécom: ***loi de Nielsen = x 2 chaque 21 mois***.

- Tous ces changements drastiques ne sont possibles que si des **nouveaux réseaux sont planifiés en permanence**.

Loi de Moore: la densité de transistors double tous les 24 mois

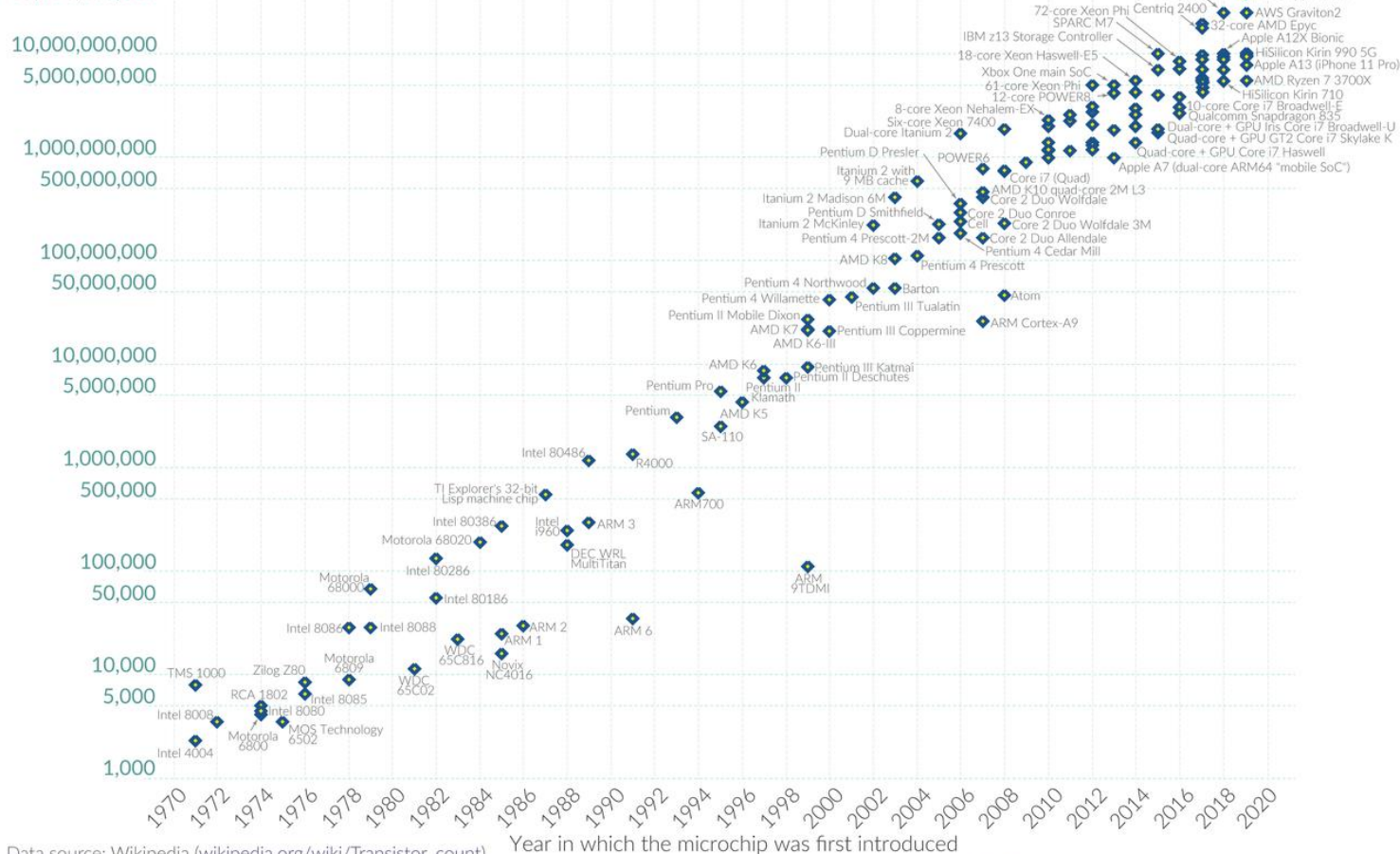
Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Our World
in Data

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years. This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Transistor count

50,000,000,000

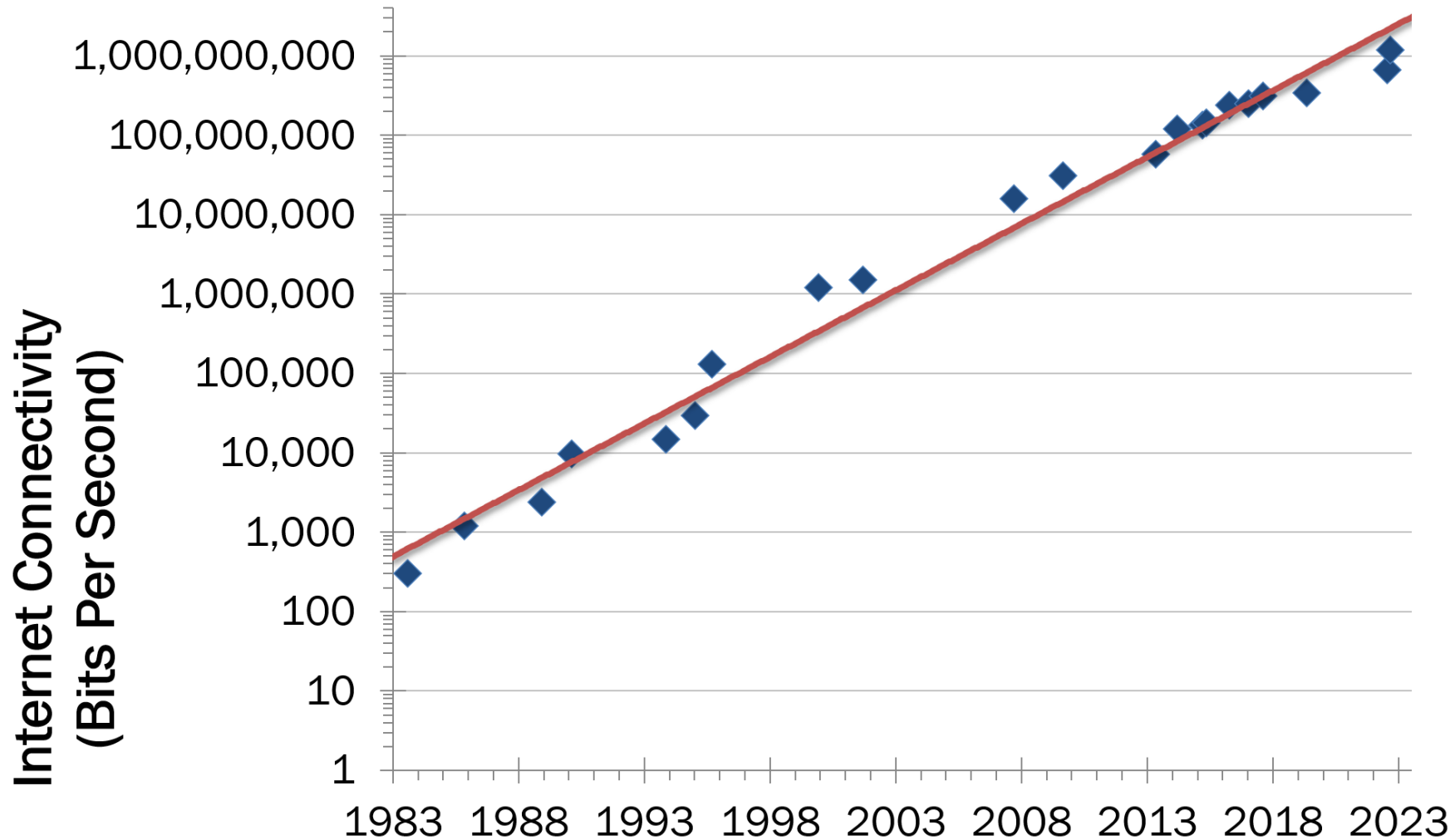


Data source: Wikipedia (wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

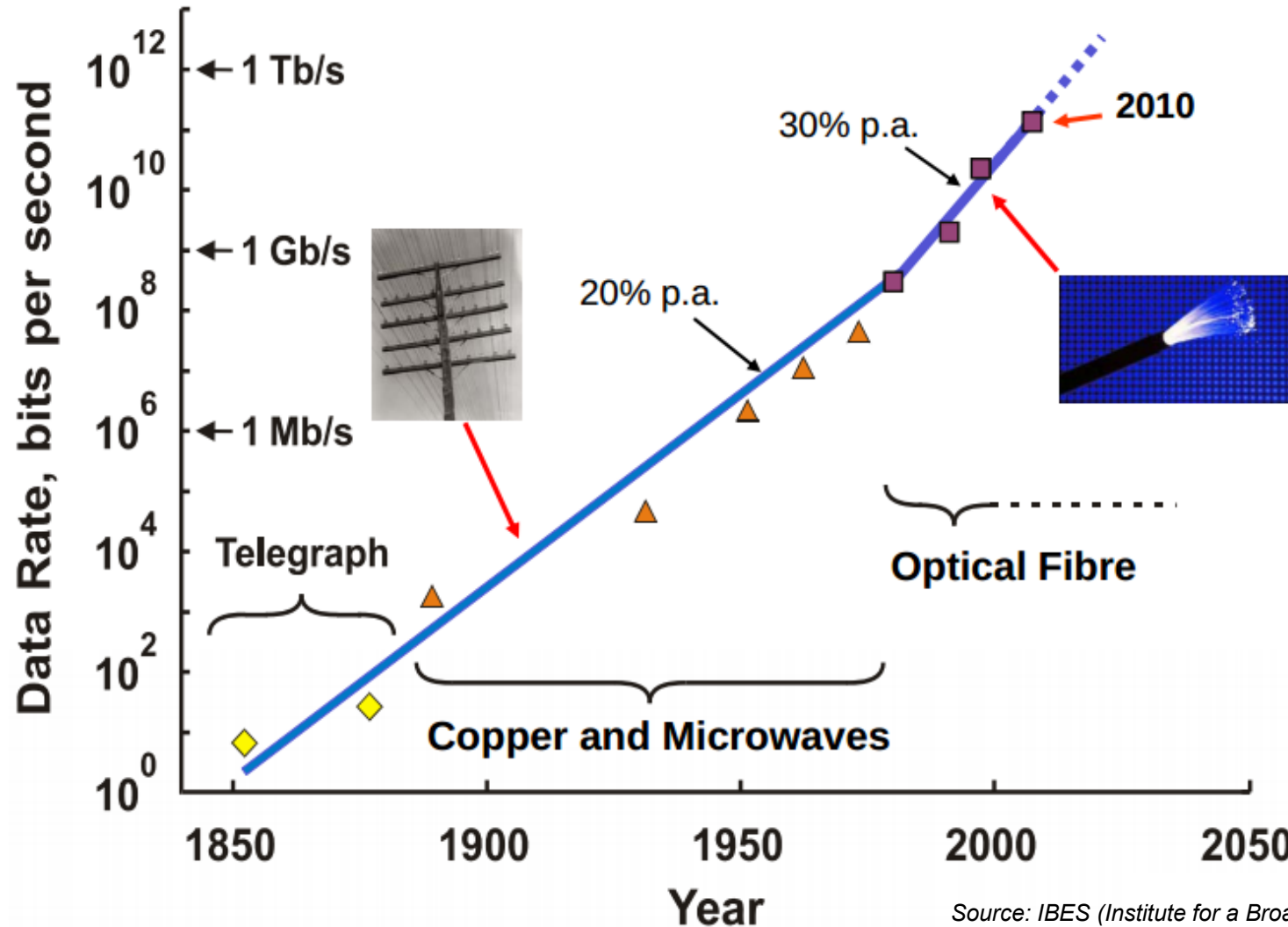
OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Nielsen's law: la capacité double tous les 21 mois



Backhaul over 125 years (réseau d'amenée entre le cœur et l'accès)



Source: IBES (Institute for a Broadband-Enabled Society)

Evolution des performance et durabilité

- Fédération française des Télécoms:
 - 90% de la consommation des opérateurs se trouvent dans les réseaux
 - 10% dans les locaux → chauff. 19°C l'hivers; raffr. 26°C l'été
 - C'est 0.8% de la consommation électrique nationale

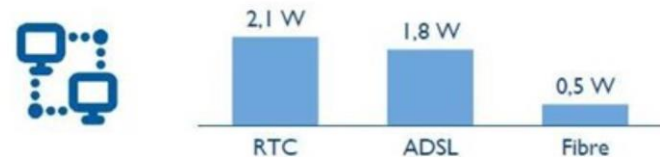
Info ou Intox ?

LE SECTEUR DES TÉLÉCOMS RÉSOLUMENT
ENGAGÉ EN FAVEUR DE LA SOBRIÉTÉ
ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

| 25.11.22

FÉDÉRATION
FRANÇAISE
DES TÉLÉCOMS

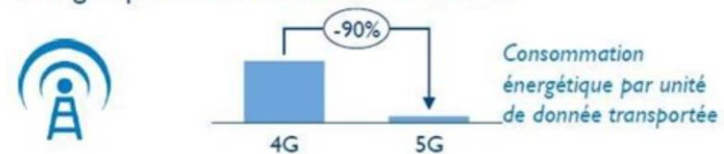
Un passage à la fibre optique qui divise par 3 la
consommation énergétique de l'accès fixe



RTC = Réseau Téléphonique Commuté

Consommation électrique par an par ligne par technologie

Le passage à la 5G qui augmente de 90% l'efficacité
énergétique des communications mobiles



Source : Etude ADL pour la FFTélécoms

Amélioration de l'efficacité mais

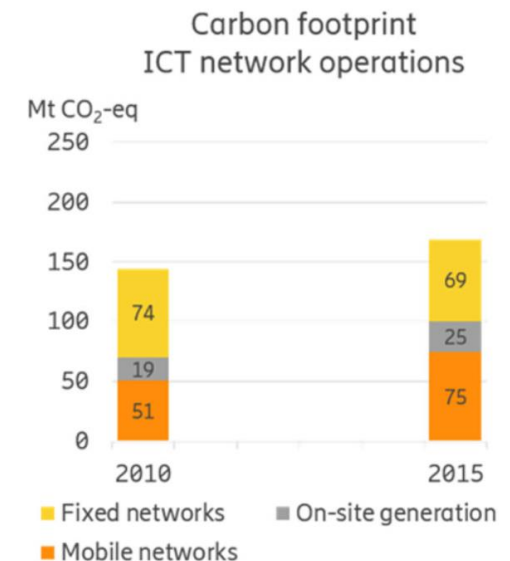
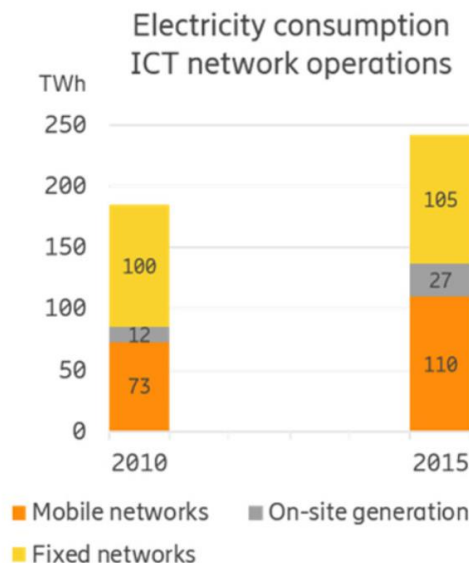
En revanche, le rythme de déploiement de la 5G dans la bande des 3,5 GHz dans les zones les moins denses pourrait être interrogé. L'allumage de la 5G en bande 3,5 GHz sur un site existant 2G/3G/4G accroît la consommation électrique du site de 40%. Là où le trafic se densifie chaque année, là où les réseaux sont congestionnés, le ratio électricité consommée par data est favorable au déploiement de la 5G en bande 3,5GHz. En revanche, l'ARCEP souligne (voir infra) que le faible volume de données transitant à date par les cellules des sites implantés dans les zones les moins denses ne permet pas de bénéficier de l'efficacité énergétique des réseaux 5G en bande 3,5 GHz, qui de surcroît n'apportent pas d'amélioration en termes de couverture géographique. Par ailleurs, les usages en zone rurale identifiés pour les prochaines années seront pleinement satisfaits par la 4G et la 5G y sera déployée de manière ciblée (zone à forte affluence, entreprises).

En effet, concrètement, 52,6% de l'augmentation nette du trafic sur les réseaux mobiles est générée aujourd'hui par 5 acteurs (Meta, TikTok, Netflix, Alphabet et Amazon).

Ericsson:

ICT:

1% consommation
énergétique mondiale
0.34% CO₂e



Orange (France Telecom)

- **1. Radio access network (RAN).** The RAN takes up **70%** of a telco's energy consumption and is the largest source of electricity for mobile operators. So, it's an obvious target for green improvements. Zero-touch provisioning can be a good start here, where cloud-native RAN equipment is upgraded, set up, and authenticated remotely. It helps save on truck rolls and the need for human workers to attend sites, reducing your carbon footprint. There are other potential ways forward, too: it's been shown that simply turning off the power-amplifier symbol at a site can reduce energy consumption by over 7%. Deploying AI tools at sites can reduce RAN power consumption by 5-7%. Deploying Open RAN (**O-RAN**) with **vendors' equipment interoperability** can enable still further savings, with use cases showing that site power consumption for high-traffic scenarios can be **reduced by 9% and by 12%** in low-traffic scenarios with O-RAN in place.
- **2. Replacing copper lines with fiber.** This one might seem obvious, but it's an area where telcos can drive major improvements. To begin with, the industrial manufacturing process of copper mining inflicts environmental damage. The silicon dioxide used in fiber-optic-cable manufacturing is one of the most **accessible and abundant materials** to mine and collect. Furthermore, ABI Research reports that replacing copper lines with fiber improves energy efficiency by **as much as 85%**.

Chat GPT: energy increase in Telecom

- The telecommunications industry has experienced a significant increase in energy consumption, driven by factors such as the expansion of 5G networks, rising data traffic, and the proliferation of connected devices.
- **Growth in Energy Consumption:**
- **Projected Increase:** The Small Cell Forum predicts that the installed base of small cells will reach 70.2 million by 2025, with 13.1 million being 5G or multimode small cells. [Environmental Health Trust](#)
- **Energy Consumption Trends:** A report from 2021 indicates that energy consumption in the telecom sector is expected to **triple over the next decade**. [Inside Telecom](#)
- **Impact of 5G Networks:**
- **Energy Efficiency vs. Increased Demand:** While 5G technology is designed to be more energy-efficient, its deployment leads to network densification, which can **increase overall energy usage**. [Data Centre Review](#)
- **Strategies for Energy Optimization:**
- **Renewable Energy Integration:** Telecom operators are increasingly adopting renewable energy sources, such as solar and wind, to power their operations. [Energy Solutions](#)
- **Energy Efficiency Measures:** Implementing high-efficiency rectifiers and automating processes are among the strategies to reduce energy consumption. [Vertiv | Digital Continuity Solutions](#)
- **Energy Digitalization:** (contrôle digital de la consommation) The adoption of energy digitalization is essential to simplify operations and decrease site operational costs. [Telecom Business Review](#)
- **In summary**, while the telecommunications industry is experiencing a significant increase in energy consumption due to technological advancements and growing data demands, there is a concerted effort to mitigate this impact through renewable energy adoption and energy-efficient technologies.

Chat GPT: impact environnemental des réseaux télécom

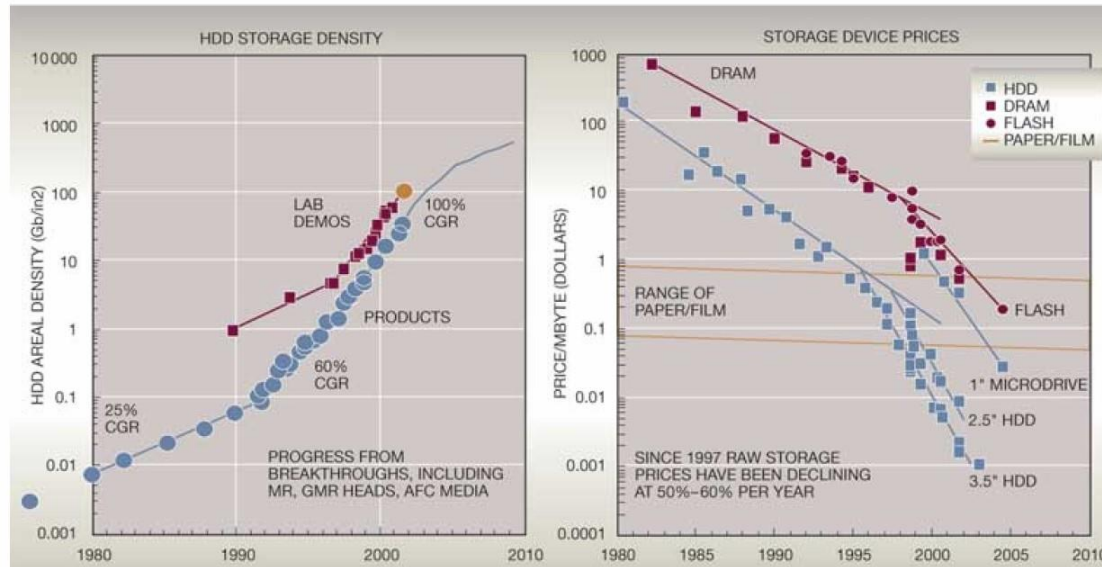
- L'impact environnemental des réseaux télécoms est un sujet important, étant donné l'extension croissante des infrastructures de télécommunication à travers le monde. Plusieurs aspects de leur fonctionnement ont un effet sur l'environnement, que ce soit à travers leur consommation énergétique, les déchets électroniques générés ou l'utilisation de ressources naturelles.
- Voici les principaux impacts environnementaux des réseaux télécoms :
- **1. Consommation d'énergie**
- Les réseaux de télécommunications (comme les antennes, les centres de données, les équipements de transmission, etc.) consomment une quantité importante d'énergie pour fonctionner. Les serveurs et équipements de réseau doivent être constamment alimentés, et de plus en plus de données sont transmises à travers ces infrastructures (comme avec la 5G). L'empreinte carbone de ces réseaux dépend donc fortement des **sources d'énergie utilisées**. Si l'énergie provient de sources non renouvelables, comme le charbon ou le gaz, l'impact sur le climat est considérable.
- **2. Émissions de gaz à effet de serre (GES)**
- En raison de la consommation d'énergie, les réseaux télécoms contribuent aux émissions de gaz à effet de serre. Cela est particulièrement vrai dans les pays où l'énergie est produite principalement à partir de combustibles fossiles. Les grandes entreprises de télécommunications ont donc de plus en plus tendance à investir dans des solutions plus écologiques, comme des centres de données alimentés par des **énergies renouvelables** (solaire, éolien).
- **3. Production de déchets électroniques**
- Les équipements télécoms, comme les modems, les routeurs, les serveurs, les antennes et autres matériels électroniques, ont une durée de vie limitée. Lorsque ces équipements deviennent obsolètes ou défectueux, ils génèrent une grande quantité de déchets électroniques, dont beaucoup ne sont pas recyclés de manière adéquate. Ces déchets peuvent contenir des substances toxiques comme le **plomb, le mercure ou le cadmium**, ce qui représente un danger pour l'environnement si elles ne sont pas traitées correctement.
- **4. Exploitation des ressources naturelles**
- Les équipements télécoms nécessitent des matières premières, telles que des métaux rares (**cobalt, lithium, terres rares**, etc.) pour fabriquer des composants électroniques. L'extraction de ces ressources peut avoir des conséquences négatives pour l'environnement et les populations locales, notamment la dégradation des écosystèmes, la pollution de l'eau et des sols, et des conditions de travail parfois difficiles dans les mines.
- **5. Pollution électromagnétique**
- Les réseaux de télécommunications, en particulier les antennes relais et les technologies sans fil, émettent des **champs électromagnétiques**. Bien que les recherches sur les effets sanitaires de ces émissions soient encore en cours, il existe des préoccupations concernant leur impact sur la santé humaine et la faune, notamment les oiseaux et les insectes.
- **6. Solutions et initiatives écologiques**
- Face à ces impacts, plusieurs entreprises du secteur des télécommunications cherchent à adopter des pratiques plus durables. Cela inclut :
 - **L'utilisation d'énergies renouvelables** pour alimenter les centres de données et les infrastructures réseau.
 - **Le recyclage des équipements** pour limiter les déchets électroniques.
 - **L'optimisation des réseaux** pour réduire leur consommation énergétique.
 - **La conception de matériel plus éco-efficace** et durable.
- En conclusion, bien que les réseaux de télécommunications jouent un rôle essentiel dans notre société moderne, leur impact environnemental est non négligeable. Toutefois, des efforts sont faits pour limiter cet impact, avec des initiatives visant à rendre ces réseaux plus durables et à favoriser une transition vers des technologies respectueuses de l'environnement.

HISTORIQUE

1837	Morse : alphabet pour télégraphe	1938	Reeves: modulation MIC par impulsion et codage (numérisation de la voix)
1866 (1858)	1er câble transatlantique	1948	Invention du transistor électronique
1870	Liaison télégraphique Londres - Calcutta (11000 km)	1956	1er câble transatlantique téléphonique (avec 51 répéteurs)
1876	Bell : Invention du premier appareil téléphonique	1962	Lancement du satellite "actif" TELSTAR I (télévision)
1889	Strowger : invention du premier sélecteur automatique	1965	Satellite géostationnaire EARLY BIRD (INTELSAT I)
1901	Marconi : Télégramme transatlantique par onde (TSF)	1969	Transmission des premiers pas de l'homme sur la lune
1907	L'invention de la triode pour l'amplification électrique	1975	1ère liaison expérimentale à fibre optique
1927	Liaison téléphonique transatlantique par onde courte	1991	Publication du concept WEB

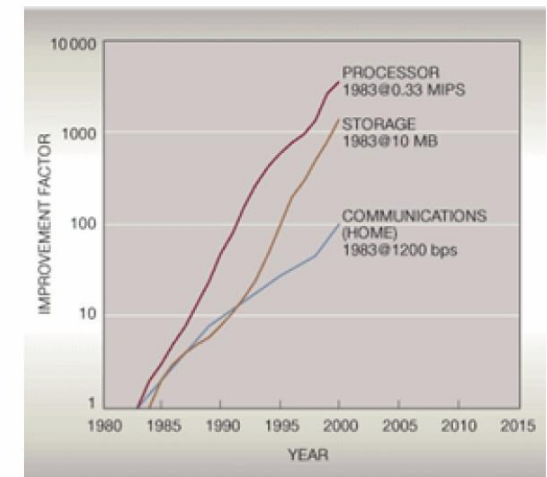
Evolution combinée du processing time, du stockage et des communications

Figure 1 HDD storage density is improving at 100 percent per year (currently over 100 Gbit/in²). The price of storage is decreasing rapidly and is now significantly cheaper than paper or film.



MR, GMR: (Giant) Magnetoresistive, AFC: Antiferromagnetically coupled

Figure 2 Improvement factors for PC technologies: since 1990 storage technology has outpaced both processor and communication technologies.



Morris and Truskowski, IBM Systems Journal, Vol. 42, (2), 2003.



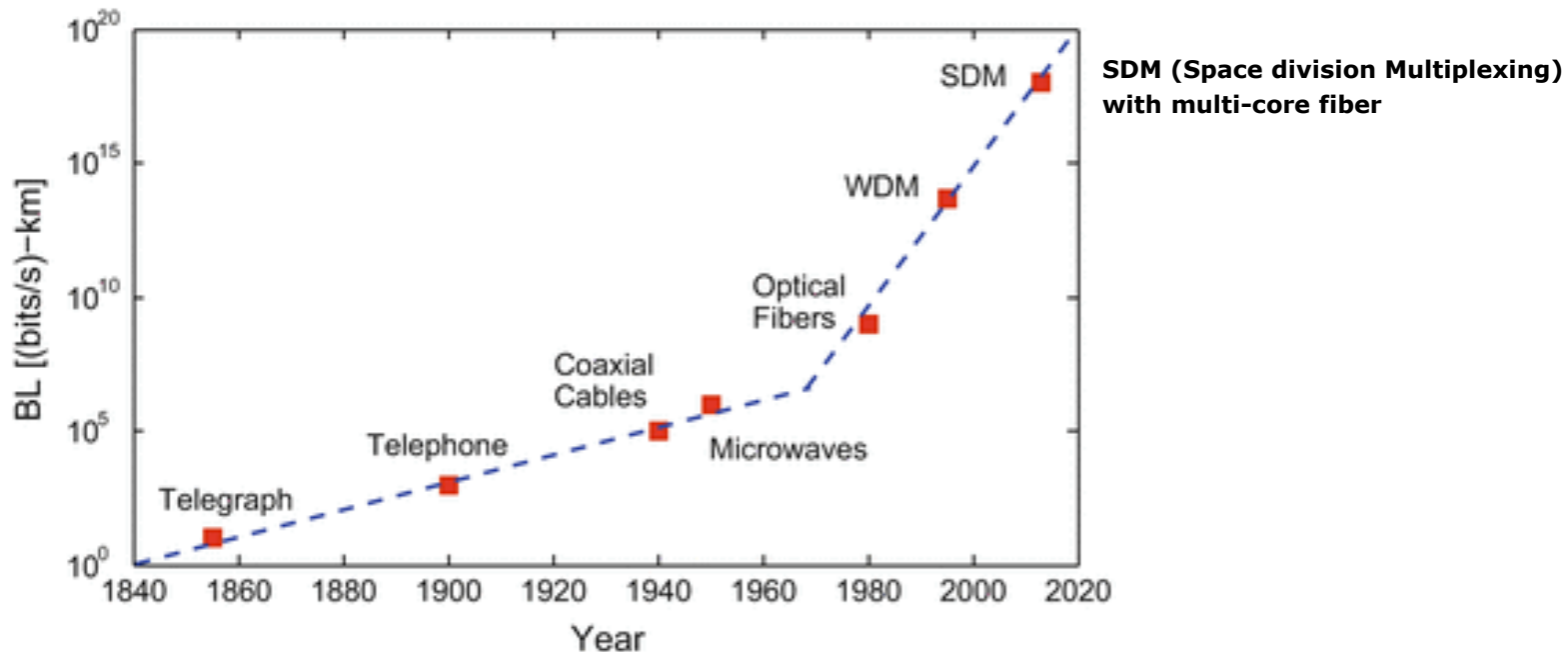
Toshiba's 0.85" 4 GB HDD

Seagate's 1" 5 GB USB External HDD



Source: E. Ayanoglu, UCI

Bandwith x Length



Increase in the *BL* product during the period 1840–2015. The emergence of new technologies is marked by *red squares*.

Dashed line shows the trend as an aid for the eye. Notice the change in slope around 1977 when optical fibers were first used for optical communications.

Où apprend on la planification de réseaux ?

- La planification est très peu, voir pas enseignée dans les écoles*.
- Mis à part pour les réseaux cellulaires, il n'existe pour ainsi dire pas de littérature.
- Jusqu'à présent la planification s'apprend «**sur le tas**» en entreprise. Il y a par contre beaucoup d'entreprises de **conseil** qui proposent des travaux de planification de réseau.

() pour info: une recherche intensive sur internet en français, allemand et anglais a uniquement montré que des travaux pratiques de spécialisation sont organisés par l'école «Telecom Bretagne».*

Organisation du cours

- 11 premières semaines:
 - Jacques Robadey
 - Bases de conception, planification, déploiement et exploitation (historique d'un réseau) dans les réseaux backbone, metro et accès
 - Uniquement pour réseau fixe
 - 3 TPs
 - Exercices moodle (clé: concept25)
- 5 dernières semaines:
 - Sanne Stijve d'Ericsson
 - Bases de planification, conception et exploitation
 - Pour réseaux sans fil
 - 2 TPs

2. Objectifs du cours (I)

- Définir les buts d'un nouveau réseau:
 - politique et position d'une entreprise → **VISION, MISSION** d'un réseau
 - analyse SWOT → **stratégie** du réseau futur.
- Comprendre les bases d'un réseau:
 - fonction, architecture, segmentation, topologie, historique → **COÛTS**
 - évolution générale, les interactions (fusion) réseaux-données.
 - avoir une vue d'ensemble des réseaux et savoir **situer** dans l'ensemble le **sous-réseau** à planifier.
 - concepts de réseaux et l'interface réseaux-service.
- Comprendre les étapes de la planification:
 - agir comme un architecte et pas comme un ~~maçon~~.
 - conceptualiser, organiser, optimiser une architecture à travers tous les segments → assurer des liaisons.
 - dimensionner un réseau en fonction des besoins du trafic et de son évolution
 - s'adapter au but:

cherry picking
contruction totale ?
Dr. J.Robadey

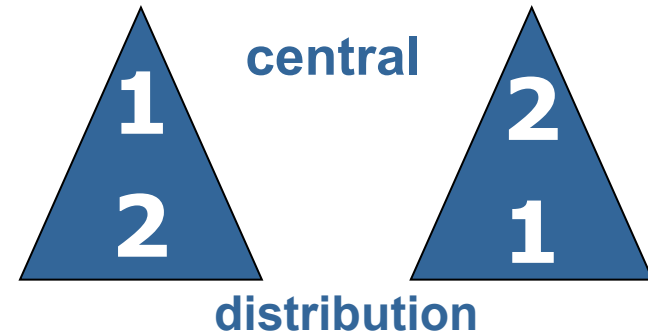


Objectifs du cours (II)

- Comprendre les différences **réseau-service**:
 - réseau.
 - services de réseau.
 - services «purs» (ou applications).
- Comprendre l'importance des **standards** et du **régulateur**.
- Comprendre la capacité d'un réseau à transporter des services et dans ce contexte le rôle de la qualité de service (QoS), des classes de Service (**CoS**) et de technologies comme DiffServ.
- Connaître comment les **limitations** d'un réseau: bande passante, QoS créent des limitations pour l'acheminement de services: exemple → trafic routier, accès à la nourriture au supermarché.
- Comprendre les concurrences entre opérateur et leur stratégie réseau.
- Savoir **dimensionner** et faire **évoluer** un réseau.

Objectifs du cours (III)

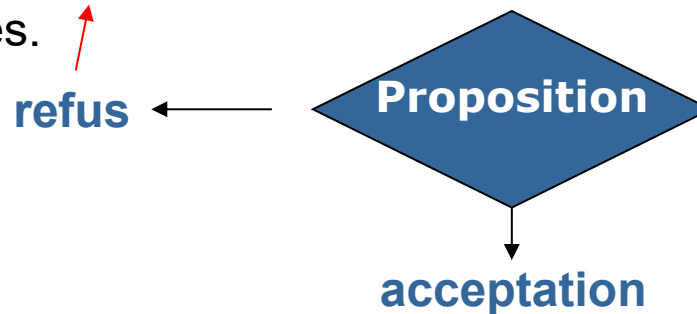
Réseau



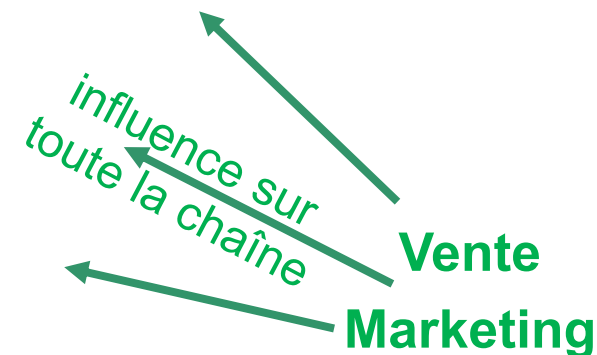
- Comprendre le déploiement:

- Vision top-down ou bottom-up.
- Utiliser la **planification** et la **proposer** aux autorités, partenaires, employés.

gestion du temps



- Préparation des nœuds.
- Etablissement des lignes (câblage).
- Documentation des éléments construits.
- Contrôle et activation des connexions.



Objectifs du cours (IV)

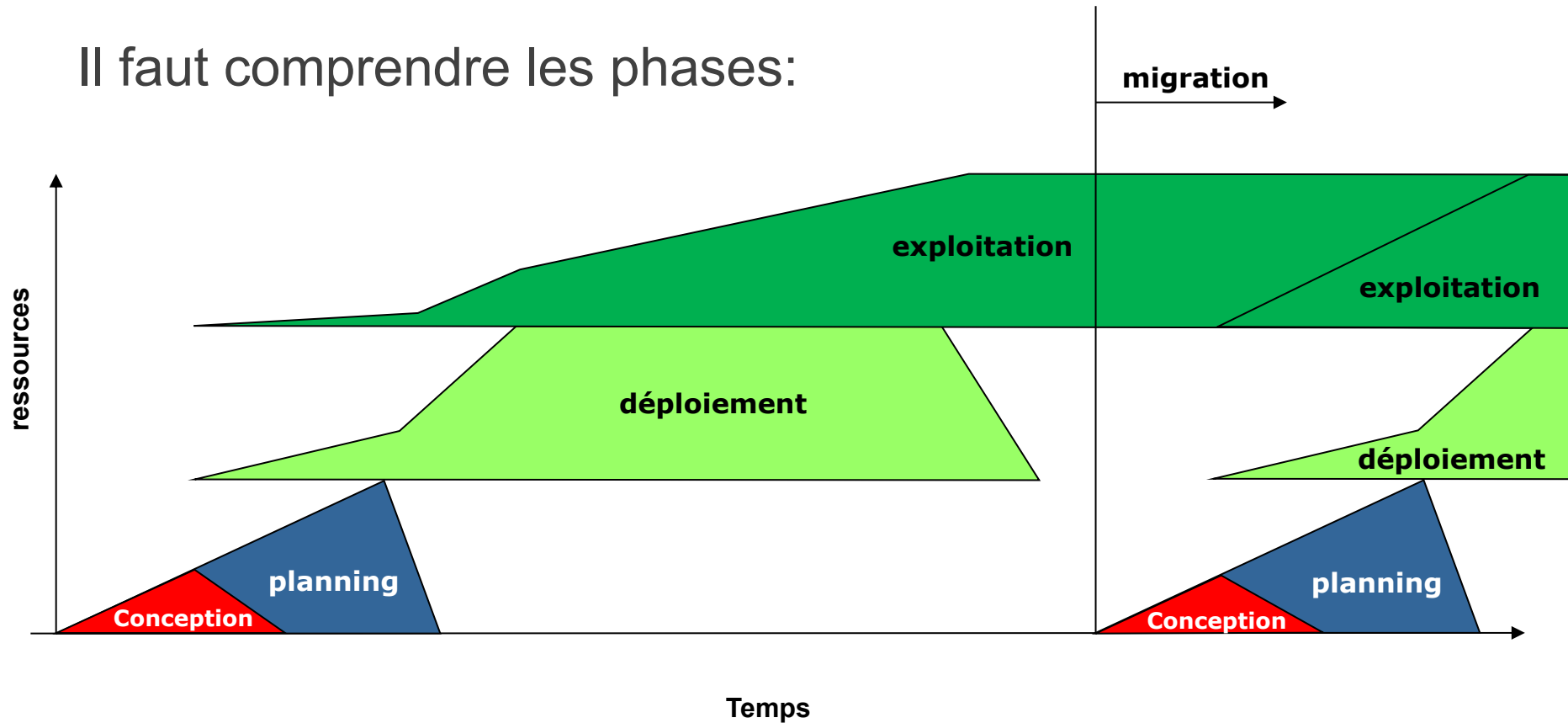
- Comprendre ce qu'est une migration:
 - Réseau de génération 1 → réseau de génération 2
 - Mise en place de processus permettant le passage
 - d'un état initial,
 - par des étapes d'implémentation
 - à un état final sans interruption des services.
 - Test du succès de l'étape de migration avant son activation.
 - Prendre en considération les aspects géographiques, architecturaux, topologiques et ... politique, écologique.
 - Organiser le «phase out» de l'ancien réseau.
 - Gérer tous les cas particuliers où la migration est un downgrade et nécessite des adaptations (exemple all-IP et les téléphones des lifts).

Objectifs du cours (V)

- Comprendre l'Exploitation du réseau (network operation)
 - Toutes les activités nécessaires au bon fonctionnement du réseau
 - Être à l'écoute des besoins clients
 - Réadapter si besoin est le réseau
- avec les tâches:
 - Configuration
 - Inventaire du réseau (documentation)
 - Protection (use of pre-assigned capacity between nodes*)
 - Restoration (use of capacity available between nodes for protection*)
 - Trouble shooting
 - Surveillance, Monitoring du réseau
 - Billing (facturation)
 - Ce qu'on appelle en général management (gestion) de réseau

Bref:

Il faut comprendre les phases:



3. Les réseaux

- Une connexion relie 2 points.
- Un réseau est ensemble de points interconnectés:
 - au minimum 3 points.
 - au minimum 3 connexions dont 2 directes.
- Les réseaux font partis de nombreux domaines:
 - Transport routier, ferroviaire, métro, fluviaux, maritime, câblé, aérien
 - Eau, égouts, gaz, pétrole, chaleur à distance
 - Poste, air comprimé, courrier par vélo
 - Électrique
 - Télécommunication

Les **synergies** des réseaux (utilisation des mêmes tracés)

- Une connexion relie 2 points.
- Un réseau est ensemble de points interconnectés:
 - au minimum 3 points.
 - au minimum 3 connexions dont 2 directes.
- Les réseaux font partis de nombreux domaines:
 - Transport **routier**, **ferroviaire**, **métro**, **fluviaux**, **maritime**, câblé, aérien
 - **Eau**, **égouts**, **gaz**, **pétrole**, **chaleur à distance**
 - **Poste**, **air comprimé**, courrier par vélo
 - **Électrique**
 - **Télécommunication:**
 - paire torsadée, câble télégraphique, câble coaxial, Ethernet Cat7, câble électrique
 - fibre, air-vide

Historique des télécoms

- Très tôt, des signaux de fumée furent utilisés par les peuples amérindiens, et des tambours par les peuples d'Afrique. Ces signaux permettaient de transmettre des informations parfois complexes.
Au XVI^e siècle, au Japon, le gouverneur Takeda Shingen institua des techniques de communications militaires sur des distances importantes utilisant des signaux par le feu.
- Au Moyen Âge, des tours placées sur les sommets permettaient de transmettre les ordres et renseignements stratégiques, mais l'information était limitée à l'équivalent d'un bit moderne comme : « l'ennemi est en vue ».
- Les navires de guerre en escadre à la mer communiquaient, au 18^{ème} siècle, par un système de hissé de pavillons numériques, dont la signification se trouvait dans un livre de code donnant un sens pour chaque nombre (voir Code international des signaux maritimes).
- 1794: Télégraphe optique
- 1839: Télégraphe électrique
- 1877: commercialisation du téléphone →
- 1912: 1 habitant sur 12 connecté aux USA (1/71 en GB,D et 1/183 en F)

Constance et évolution

- Il y a toujours eu des réseaux:
 - Visuel (optique)
 - Électrique
- Evolution:
 - Au début: uniquement pour des communications extrêmement importantes: défense, militaire
 - Ensuite: pour les communications privées des gens aisés.
 - Finalement: pour tout le monde
- Amélioration:
 - Fiabilité
 - multiplication des connexions.

4. Segmentation

Les réseaux sont divisé géographiquement en:

- Réseaux transcontinentaux
- Continentaux
- Nationaux
- Métropolitains
- Feeder
- Drop
- Inhouse
- Home / Enterprise

(<https://www.submarinecablemap.com/>)

Backbone/Core

Métro

Accès

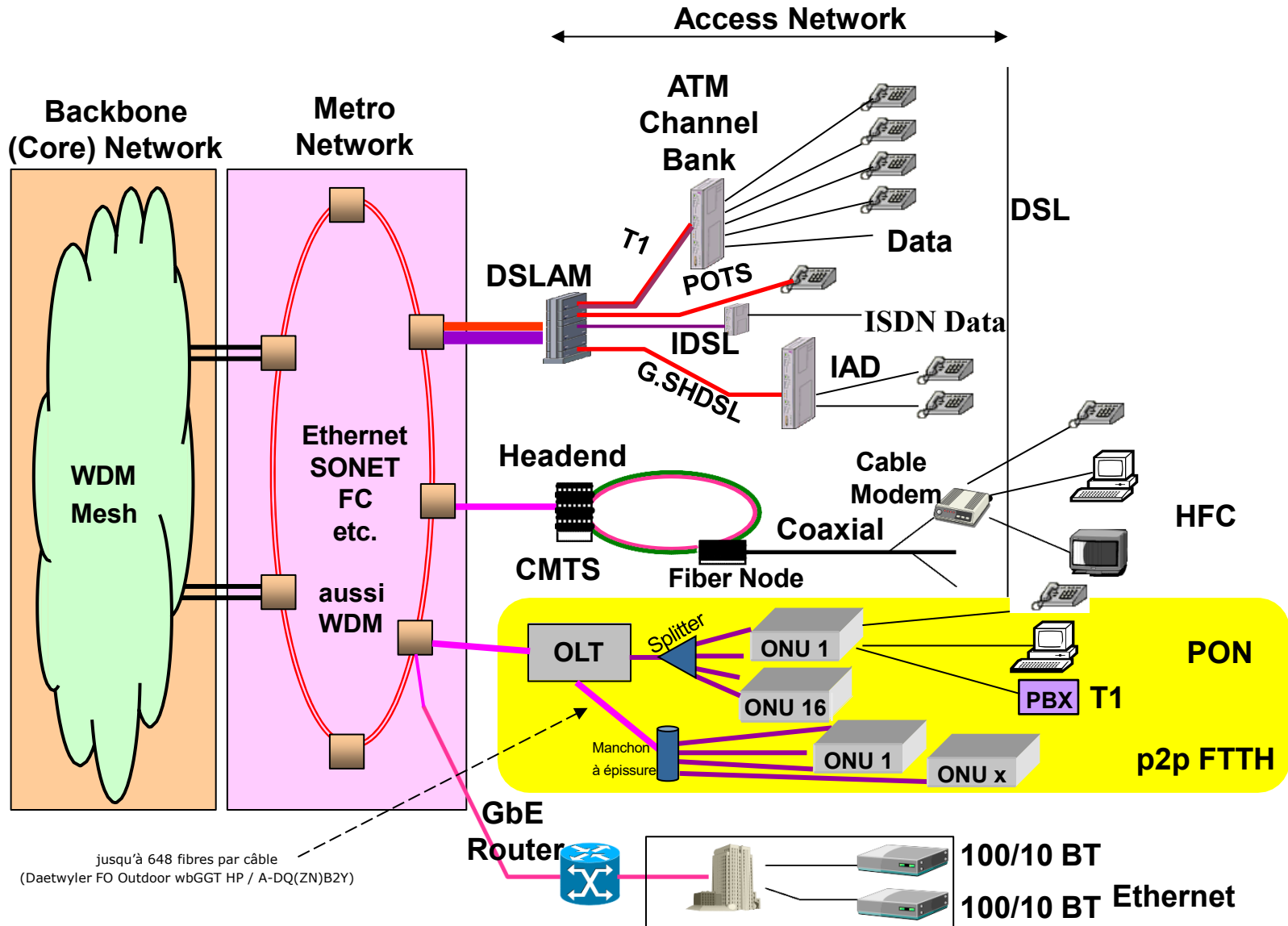
Home

Opérateur

en général

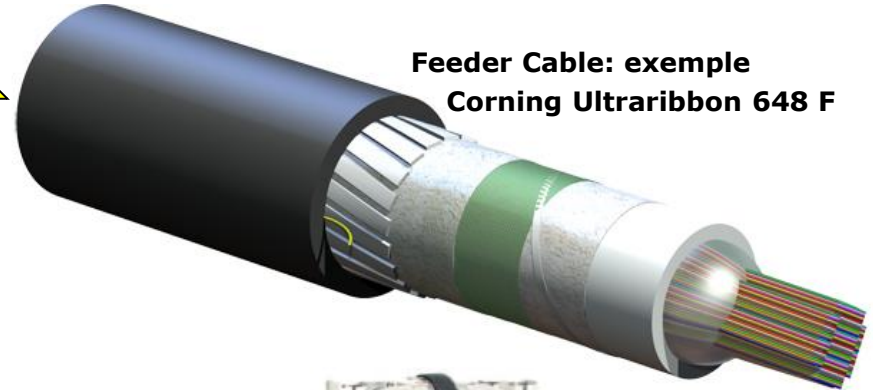
Client

Segmentation (II)



Éléments clefs

feeder

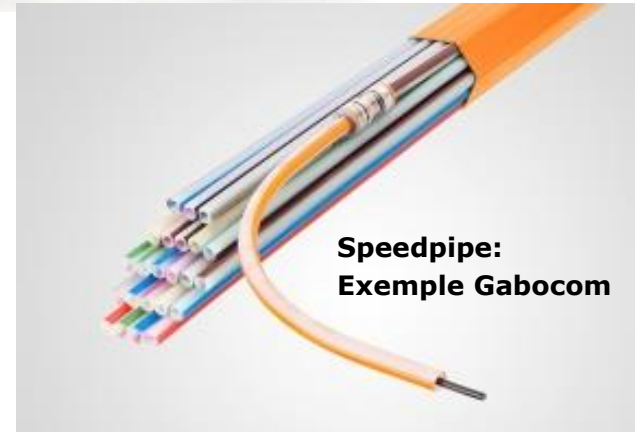


Feeder Cable: exemple
Corning Ultraribbon 648 F



Manchon à épissure:
Exemple Connectcom

drop

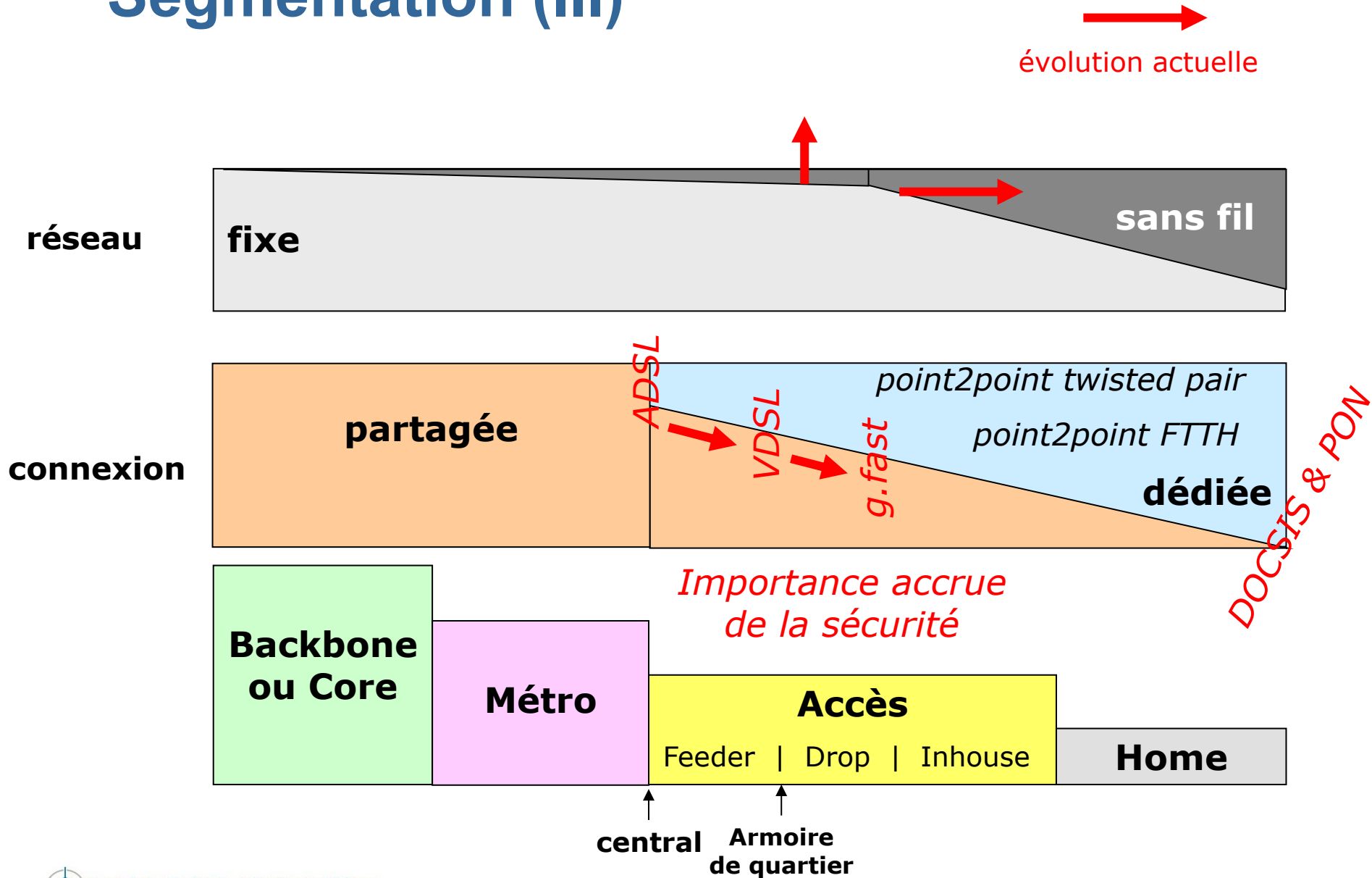


Speedpipe:
Exemple Gabocom



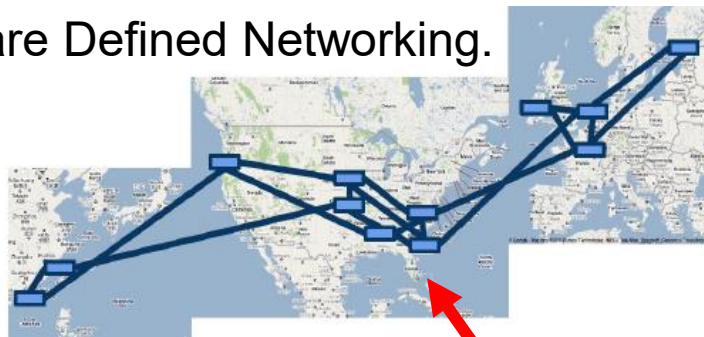
Regard / Manhole / Schacht

Segmentation (III)

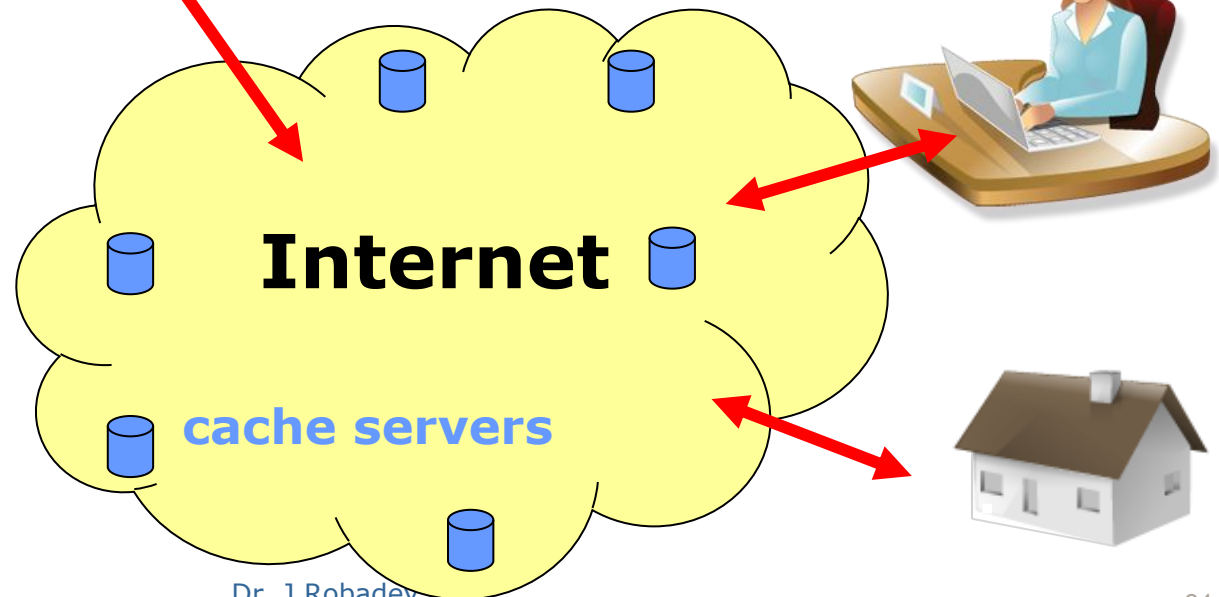


4. Internet, le nuage (cloud) et SDN

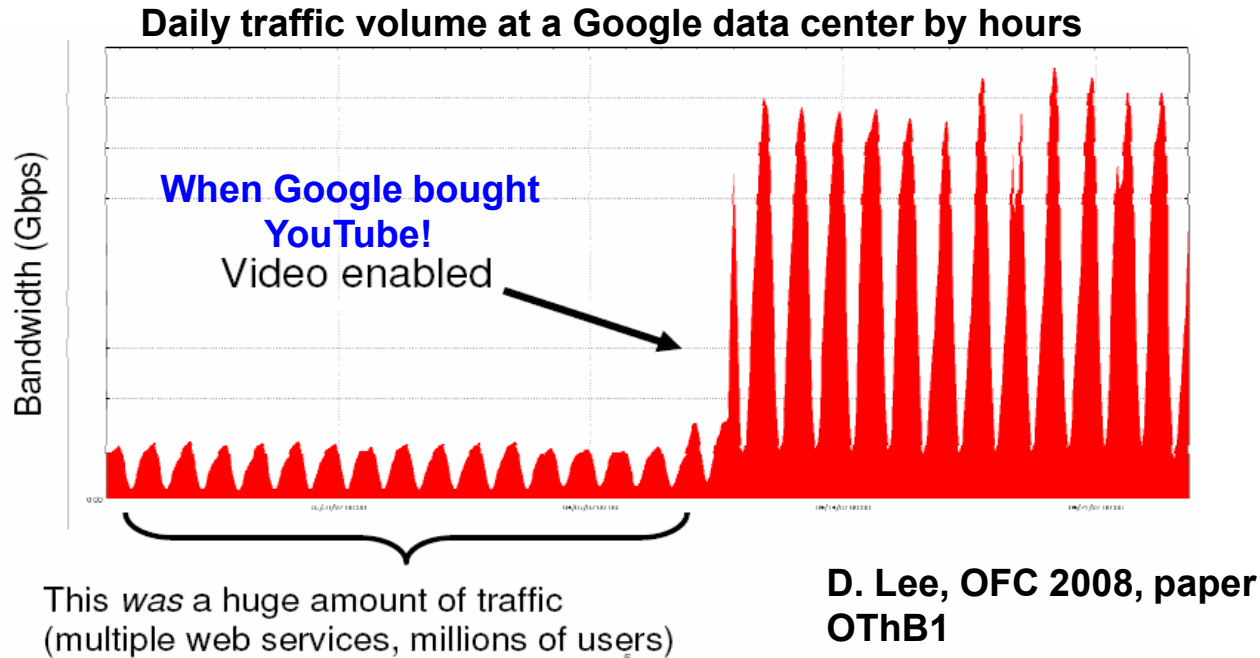
- L'internet est le réseau mondial, car il se trouve sur tous les segments.
- Evolution actuelle → fusion des données et des réseaux.
- Content Delivery Networks.
- Software Defined Networking.



**réseau de datacenters
de google
(→SDN)**



Achat de YouTube par Google



- **Traditional web surfing is user active, network passive**
- **Video is user passive, network active.**

5. Réseaux et services

- La frontière peut être floue.
- Une clarification est nécessaire.
- Le réseau permet le transport d'information.
- Les services sont des applications (Tél, TV, Internet...) qui utilisent le réseau.
- «Open Access **Network**» réseau à accès ouvert = plateforme de transport (layer 2) reliant les clients à des fournisseurs de service (comme sunrise, salt) → service de transport.
- Data **Service**: Backup, private storage, Cloud storage.
- **Service** globaux: smartmetering, smartgrid, une ville donnant les informations des places de parc libres, gps.

Les réseaux à accès ouvert sont les autoroutes de l'information

une infrastructure:

- pour tous les utilisateurs.
 - pour tous les services.
 - plus rapide que tous les autres réseaux.
- aucune discrimination entre utilisateurs, services et fournisseurs de Service.



Télécom			Trafic routier
Clients finaux d'internet, téléphonie, TV, VoD			Passagers
Fournisseurs de Service (Service Providers: SP)	Sunrise	≥L3	Entreprises de transport: Bus, Taxis
Opérateurs de réseaux		L2	Autoroutes
		L1 L0	

FTTH-FR et Net+

FTTH-Fribourg loue des fibres aux SP:

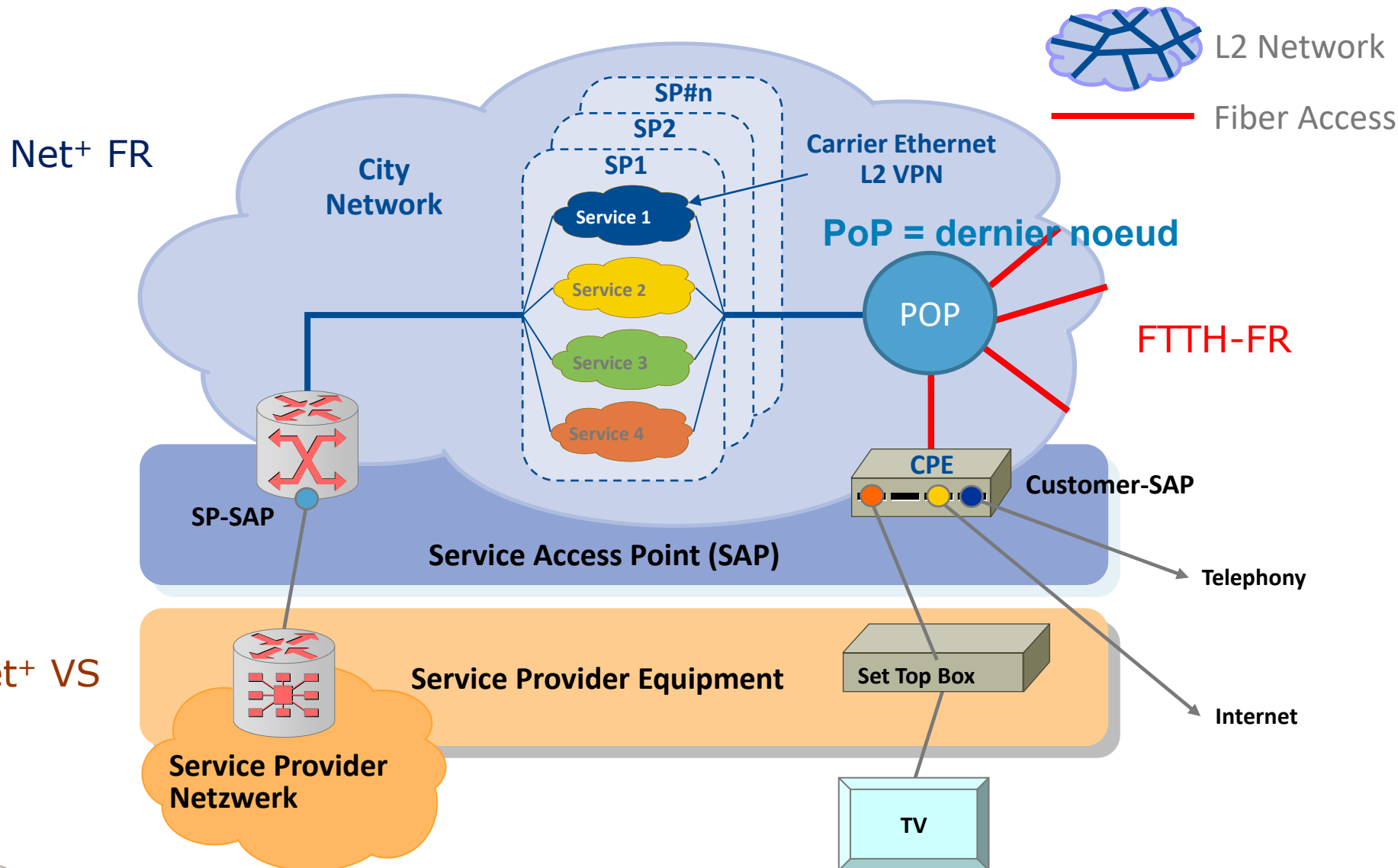
Les SP doivent développer leur propre réseau de transport.

→ Investissement important accessible à un nombre plus limité de SP.



Télécom		Trafic routier
Clients finaux d'internet, téléphonie, TV, VoD		Passagers
SP possédant et opérant une infrastructure L2 et L3	≥L2	Entreprises de transport: Bus, Taxis avec utilisation et entretien exclusif de la route
Propriétaire d'infrastructure passive	L1 L0	Autoroutes sans entretien et gestion des flux

Solution technique pour un réseau à accès ouvert





Clin d'œil: prenez garde à certaines affirmations !

- No-one will ever use 100 Mb/s to the home
- **Wireless can provide 100 Mb/s to the home** O.K.
- Future advances in wireless will make FTTP obsolete
- Advanced DSL will provide 100 Mb/s to the home ?
- FTTH is environmentally unfriendly ?
- Australia is taking a risk in going to FTTP before the rest of the world





100 Mb/s FTTP with Micro-Cells





100 Mb/s FTTP with Micro-Cells



Each tower is fed
by a fibre

Beware the fine print!

C'est exagéré mais un peu vrai:

Pour planifier optimalement un réseau, il faut penser à toutes les technologies.



Merci de votre attention !

jacques.robadey@hefr.ch
HES-SO//Fribourg - EIA-FR

Questions:

- Quel est l'évolution des réseaux en bande passante (loi du service universel) en technologie (wired, wireless), réseaux et data ?
- Quelles sont les différentes phases de la construction / exploitation d'un réseau ?
- Quels sont les différents segments d'un réseau du grossier au détaillé ?
- Quelles technologie est implémentée sur chaque segment (L1-3) ?
- Qu'est ce un open access network ?