



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

Conception, déploiement et exploitation de réseaux.

3. Conception globale du réseau.

Contenu.

- Vision segmentaire et architecturale (fonctions des différentes couches).
- Point de Peering, Datacenters, serveurs cache et client finaux.
- Matrice de trafic à trois niveau.
- Topologies.
- Facteurs de coûts.
- Fiabilité / Disponibilité
- Conclusion

Rappel de TINF: éléments de réseau.

Liens : Liaisons physiques (câbles) entre 2 éléments localisés.

Machines-hôtes : ordinateurs dévolus à l'exécution des programmes.

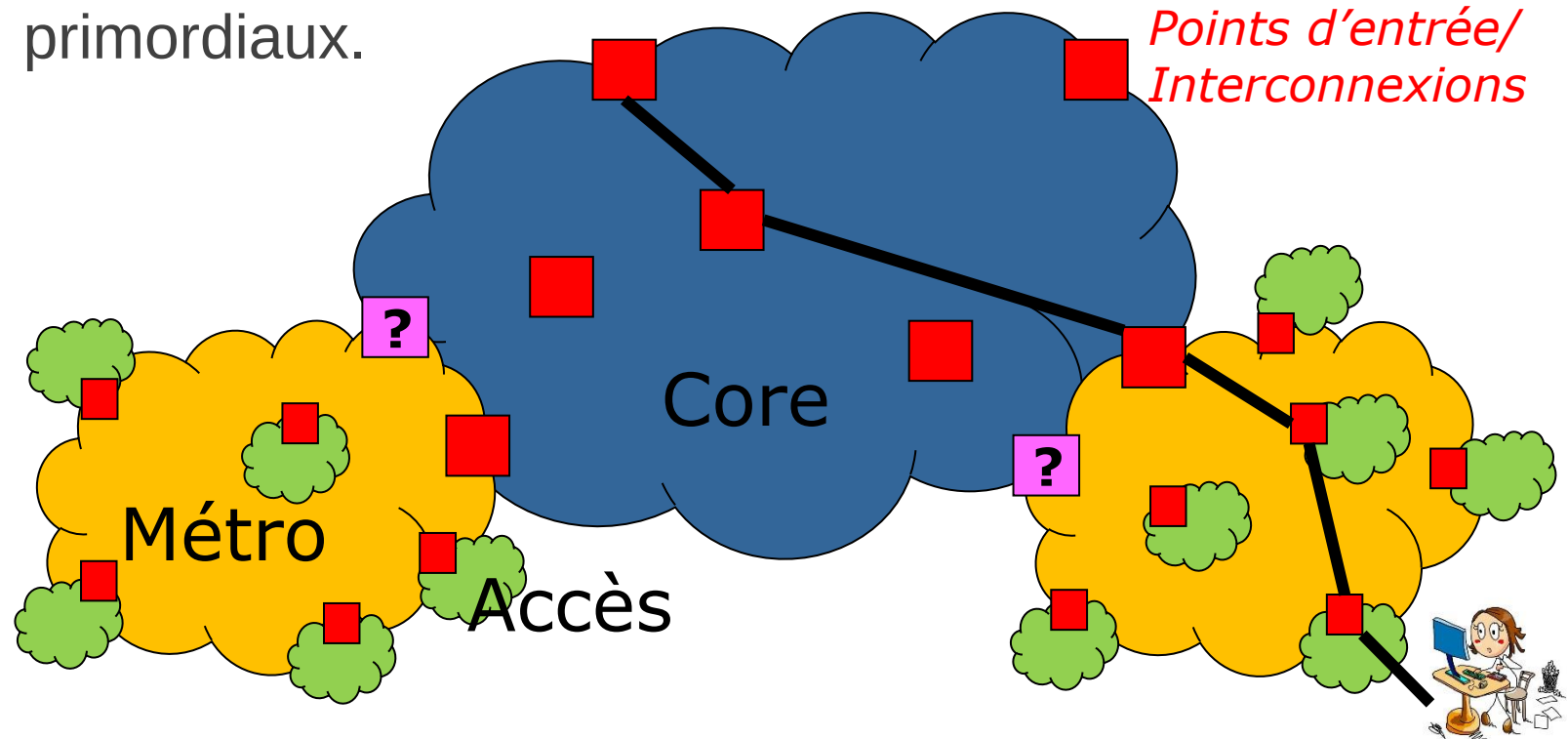
Nœuds de commutation (routeur, switch) : ils acheminent l'information vers le destinataire, en fonction de paramètres contenus dans les paquets (adresse, classe de priorité).

Multiplexeurs et concentrateurs : équipements qui permettent de partager la capacité d'une voie de transmission entre plusieurs communications.

Transducteurs : systèmes mis en œuvre pour transférer un débit binaire donné entre deux points (modems CATV, systèmes numériques sur paires bifilaires ou fibres optiques, points d'accès sans fil, liaisons par faisceaux hertziens ou par satellites).

1. Vision segmentaire.

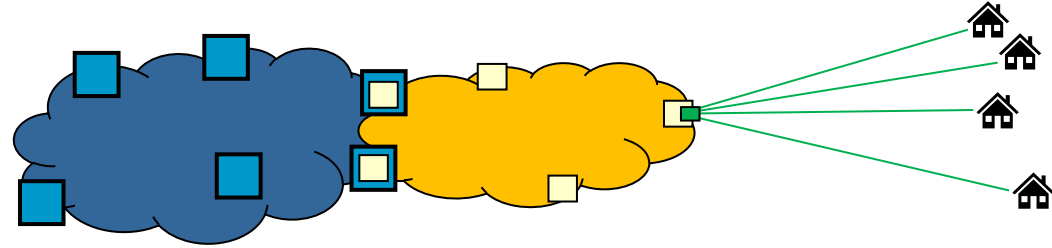
- Le rôle, l'étendue et les interconnexions des 3 segments doivent être conceptualisés/planifiés en premier.
- «L'intelligence» du réseau et la gestion du trafic sont primordiaux.



L'architecture des couches.

Couche	Fonctions
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique
2	Commutation de circuit/trames Multiplexage statistique
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium

L'architecture des couches.

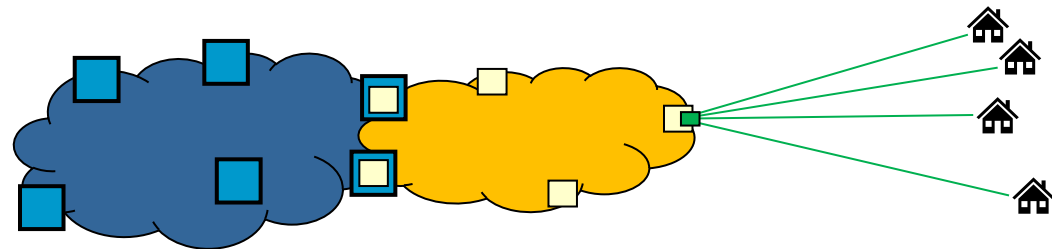


Couche	Fonctions
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique
2	Commutation de circuit/paquet Multiplexage statistique
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium

Tendance actuelle:
convergence



L'architecture des couches.

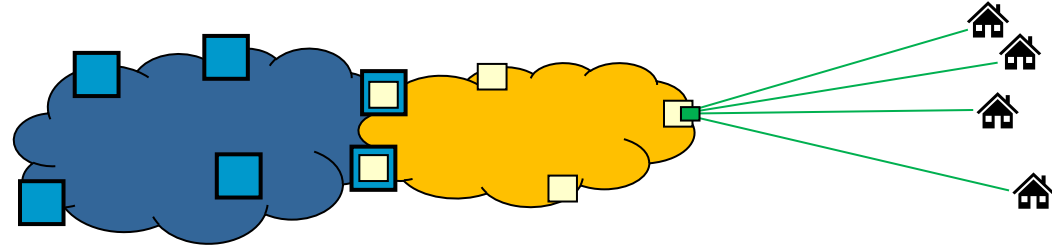


Couche	Fonctions	Core	Métro	Accès
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique	IP IP IP	(IP) (IP)	Service IP IP
2	Commutation de circuit/paquet Multiplexage statistique	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet Ethernet
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium	ROADM/OTN/SDH WDM/OTN/SDH signal o./ λ optique	WDM/OTN/SDH signal o./ λ optique	SDH (POTS, II*) SDH (POTS, II) signal o./e. optique/cuivre

Tendance actuelle:
convergence

capacité		
n x 400 Gb/s	n x 10 Gb/s 100 Gb/s	<= 10 Gb/s

L'architecture des couches: futur proche



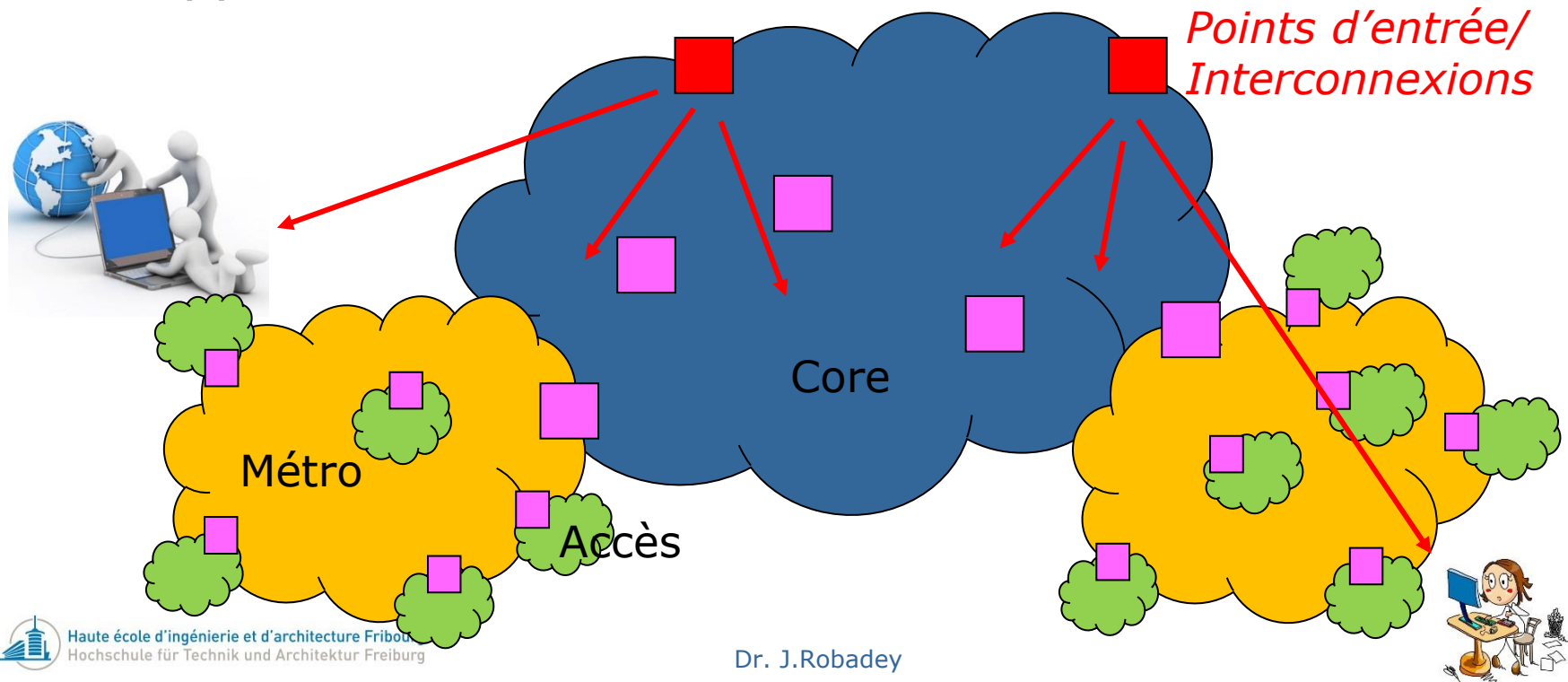
Couche	Fonctions	Core	Métro	Accès
3	Data/Internet services Commutation de paquet Multiplexage statistique	IP IP IP	(IP) (IP)	Service IP IP
2	Commutation de circuit/paquet Multiplexage statistique	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet/MPLS Ethernet	Ethernet Ethernet
1	Commutation de circuit Multiplexage fixe Signal physique Medium	ROADM/GMPLS	ROADM/GMPLS	SDH (POTS, II*) SDH (POTS, II) signal o./e. optique/cuivre

Tendance actuelle:
convergence

capacité		
n x 400 Gb/s	n x 10 Gb/s 100 Gb/s	<= 10 Gb/s

2. Points d'interconnexions.

- C'est de là que vient (ou va) le trafic.
- Transit vers les réseaux voisins
- Interconnexion vers les datacenters, où se trouvent les application servers, ISP etc.



Internet Peering et transit: appairage en mode Internet et transit.

- **Rappel:** l'Internet moderne n'a plus de dorsale (*backbone*) dans le sens traditionnel. En effet, celui-ci existe plutôt via l'interconnexion de différents Fournisseurs d'Accès Internet (FAI ou ISP) et de réseaux privés. Ils sont tous connectés via leurs **points d'appairage** et utilisent le protocole de routage BGP qui leur permet de coordonner les opérations inhérentes au fonctionnement de l'Internet sans aucune autorité centrale.
- Quand deux entités ont besoin de réunir leurs réseaux, elles disposent de deux options : utiliser le **transit** (payant), utiliser **l'appairage** (souvent gratuit entre des réseaux de taille comparable).
- Les ISP configurent des points d'appairage, les endroits physiques où les échanges de connexions se déroulent et négocient les spécificités de l'appairage. La plupart des points d'appairage sont situés dans des centres de colocation (*data centers*) où les différents opérateurs réseaux centralisent leurs points de présence (PoP).

source: wikipedia

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Appairage>

SWITCHlan Backbone

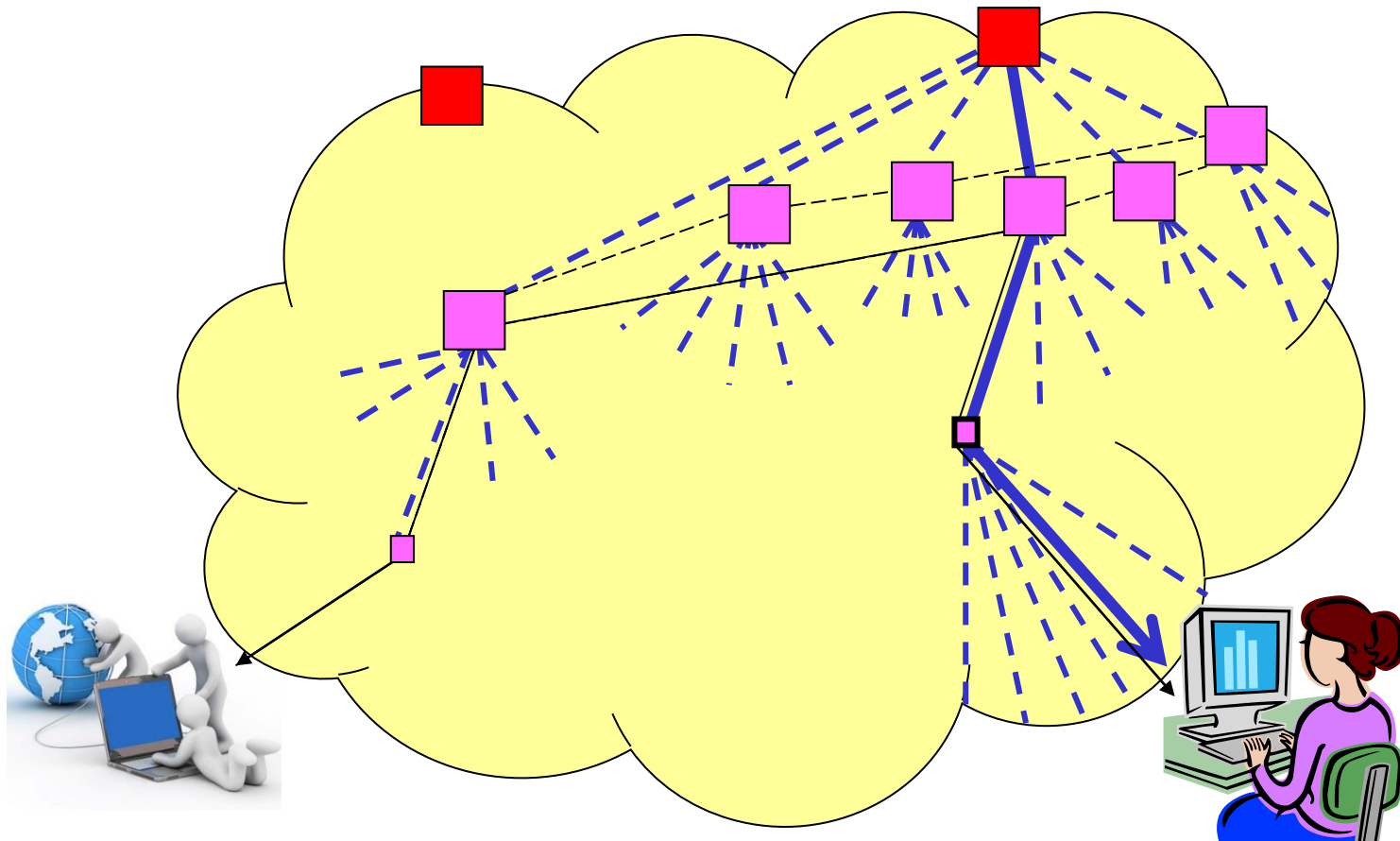


SWITCH

Serveurs centraux et serveur cache.

- Le trafic est de plus en plus organisé à partir/vers des serveurs de données et d'application, des **datacenters** où se trouvent les ISP.
- De plus en plus de **point to multipoint** et toujours plus en **unicast** (TV live → replay)
- Le trafic provient donc **quasi uniquement de points centraux → congestions possibles.**
- Une des solutions est d'utiliser des serveurs cache (**CDN**: Content Delivery Networks) → Merge des données et des réseaux.
- L'autre solution est la **capacité.**

3. Matrice de trafic global.

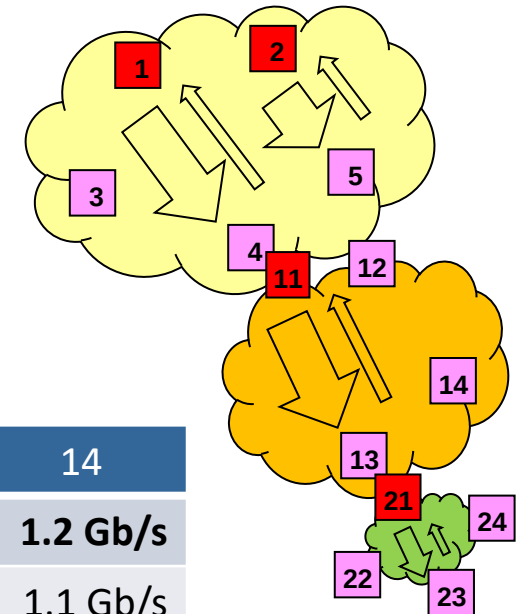


Matrice de trafic en 3 niveaux.

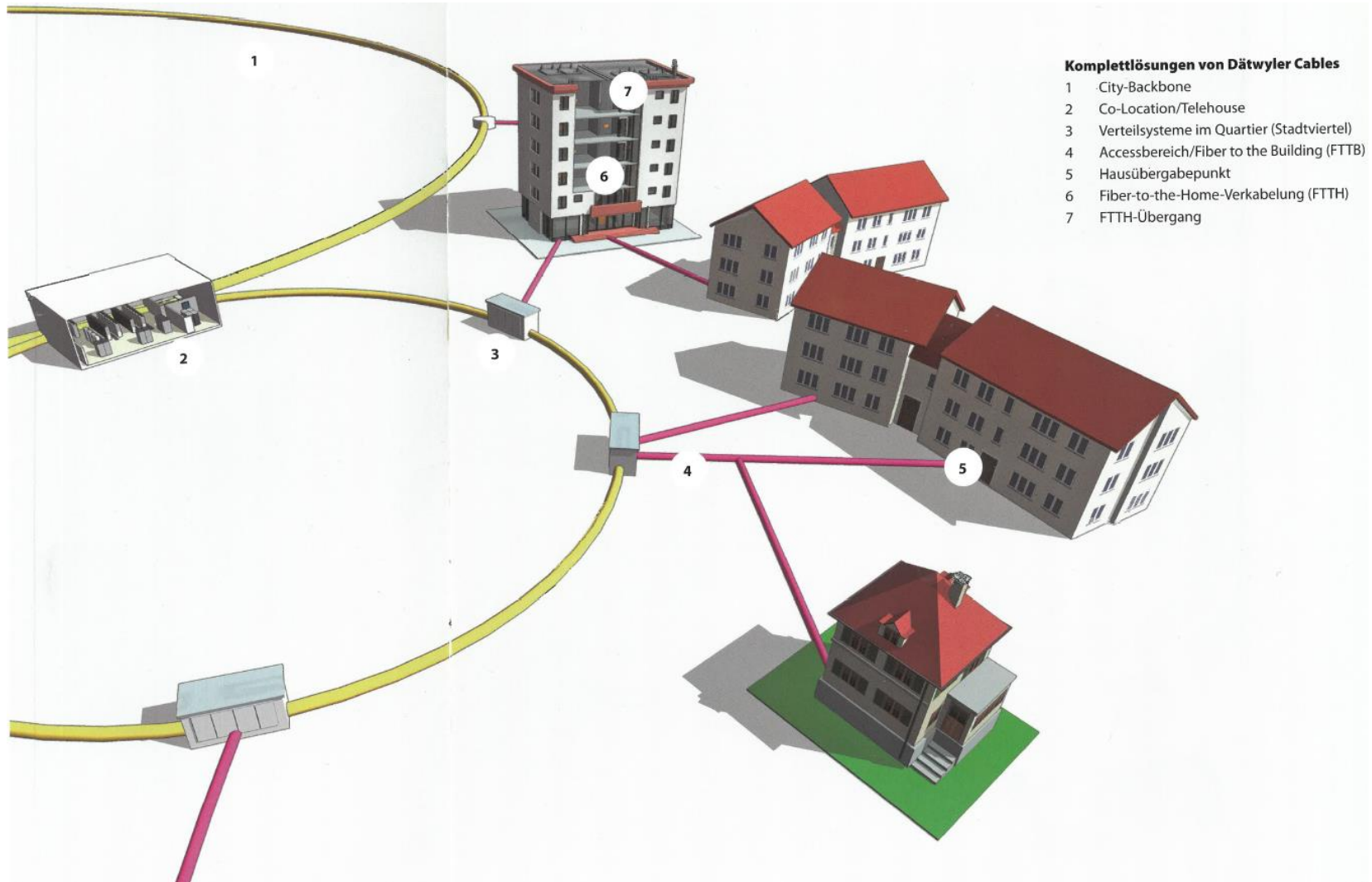
Core	1	2	3	4	5
1		11 Gb/s	15 Gb/s	12 Gb/s	8 Gb/s
2	10 Gb/s		5 Gb/s	11 Gb/s	15 Gb/s
3	140 Gb/s	8 Gb/s		4 Gb/s	8 Gb/s
4	90 Gb/s	3 Gb/s	8 Gb/s		6 Gb/s
5	20 Gb/s	105 Gb/s	7 Gb/s	9 Gb/s	

Méto	11	12	13	14
11		1.5 Gb/s	2.5 Gb/s	1.2 Gb/s
12	12 Gb/s		0.5 Gb/s	1.1 Gb/s
13	17 Gb/s	0.8 Gb/s		1.2 Gb/s
14	11 Gb/s	0.3 Gb/s	1 Gb/s	

Accès	21	22	23	24
21		1.1 Mb/s	0.5 Mb/s	0.2 Mb/s
22	20 Mb/s		0 kb/s	100 kb/s
23	11 Mb/s	0.8 Gb/s		9 kb/s
24	7 Gb/s	0.3 Gb/s	0 kb/s	

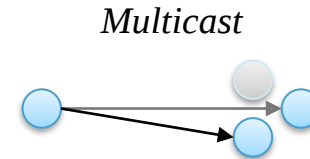
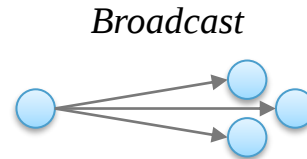


Matrice de trafic → différents réseaux (ici métro et accès)

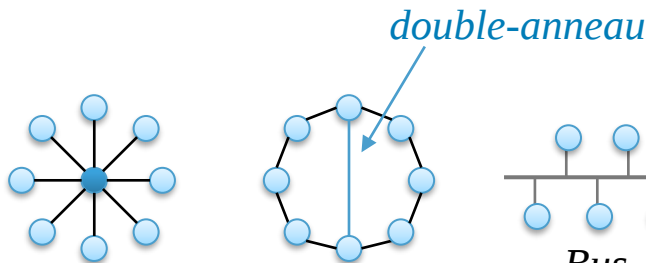


La matrice de trafic s'intègre à la topologie

- Types de communication.



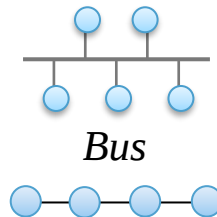
- Topologies:
 - distribution spatiale des éléments réseaux



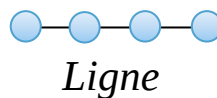
*Étoile
(star)*

*(réseau informat.
en Hub)*

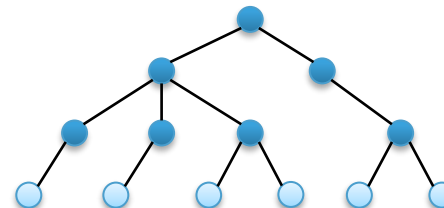
*Anneau
(ring)*



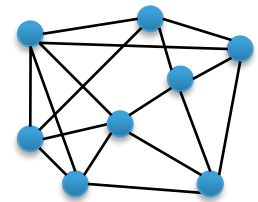
Bus



Ligne



Arbre (tree)



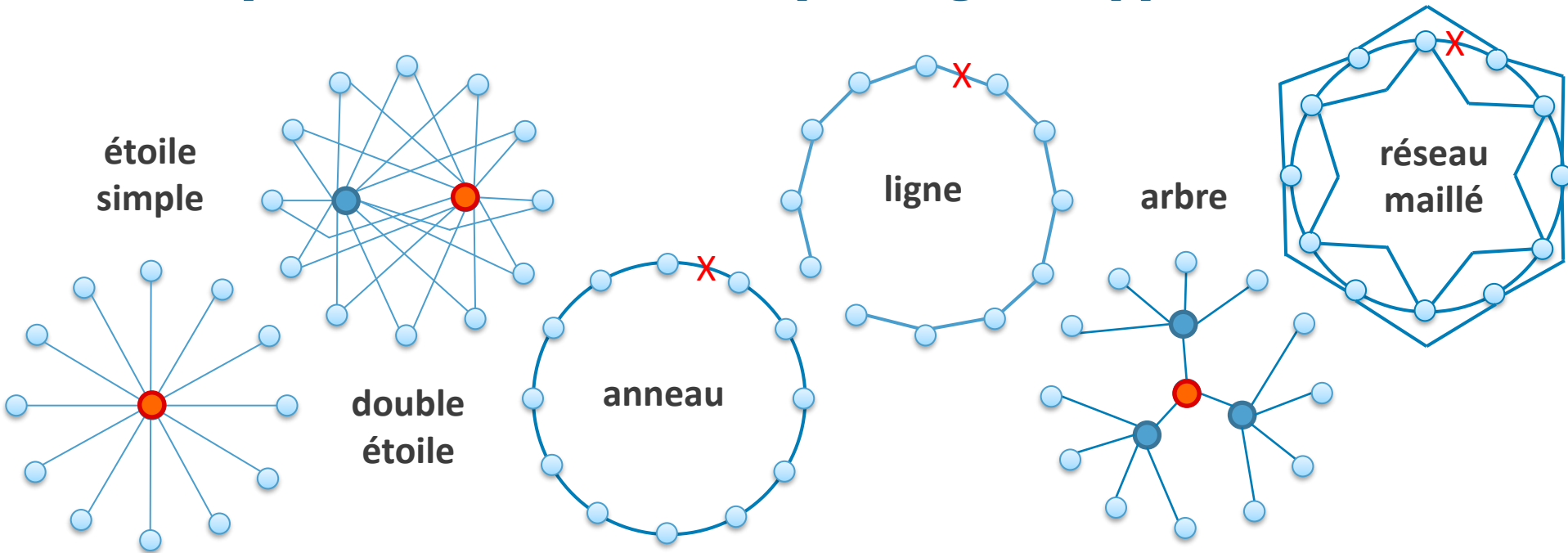
*Réseau
maillé*

(dans ce cas partiel)

○ système terminal

● système intermédiaire

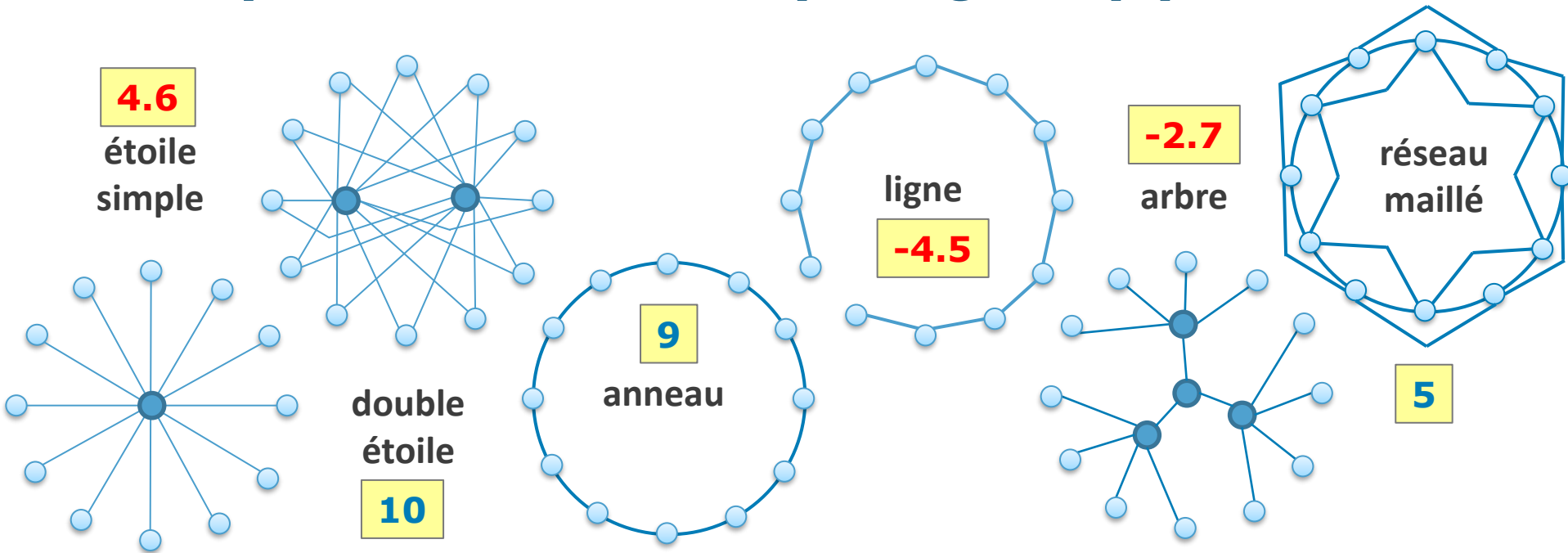
Comparaisons des topologies (I).



Remarque: le fully-meshed est hors catégorie.

Nœuds
Liens
Longueur
Bonds
Fiabilité

Comparaisons des topologies (II).



Remarque: le fully-meshed est hors catégorie.

Nœuds	13	14	12	12	16	12
Liens	12	24	12	11	15	24
Longueur	12	22	6.3	5.8	10	21
Bonds	2	2	3.3	4.3	3.1	2.6
Fiabilité	non	oui	oui	non	non	oui
Prix *	24	46	18.3	16.8	25	45
Qualité**	2.1 → X	10 → Top	3.1 → Moyen	-1.4 → X	-1.3 → X	4.2 → Bon

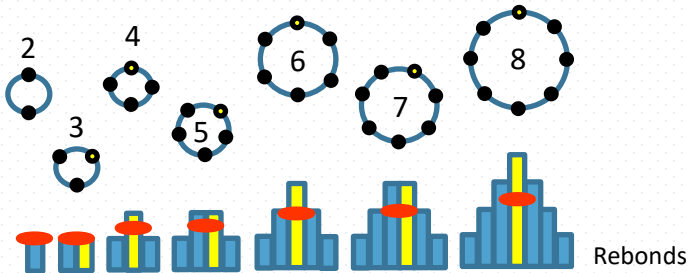
Topologie en anneau (I).

(p. 4.7 livre)

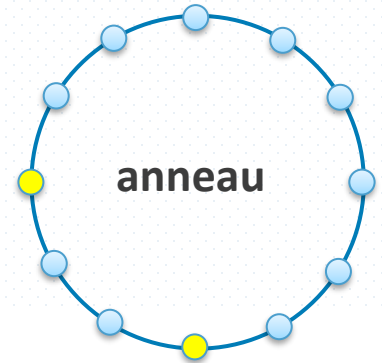
Le nombre de bonds nécessaires pour transmettre un paquet d'information entre deux machines est égal à :

$$\begin{aligned} \# \text{ Bonds} &= \frac{2 \sum_{i=1}^{\frac{N-1}{2}} i}{N-1} = \frac{N}{4} + \frac{1}{4} \quad \text{avec } N \text{ impair} \\ \# \text{ Bonds} &= \frac{2 \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}-1} i + \frac{N}{2}}{N-1} = \frac{N}{4} \left(\frac{N}{N-1} \right) \quad \text{avec } N \text{ pair} \end{aligned}$$
$$\geq \frac{N}{4} + \frac{1}{4}$$

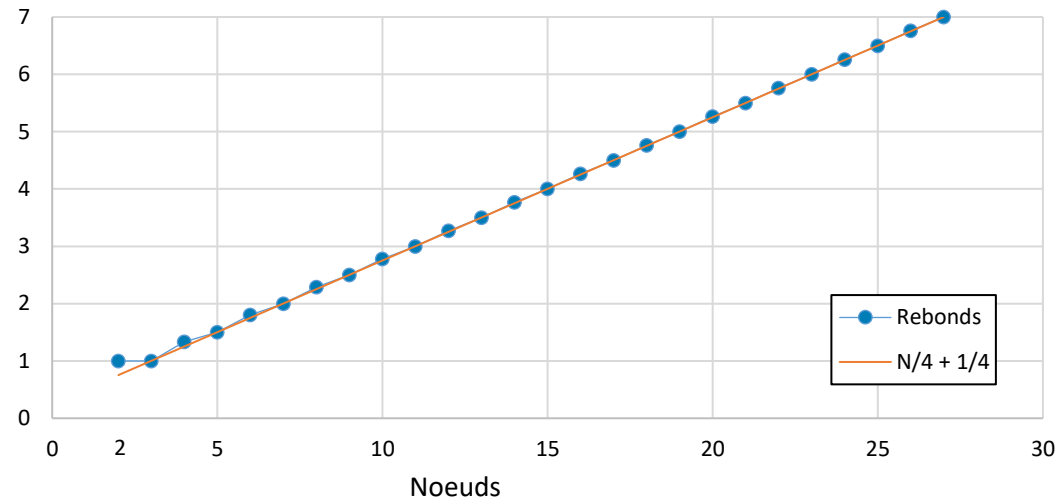
Topologie en anneau (II).



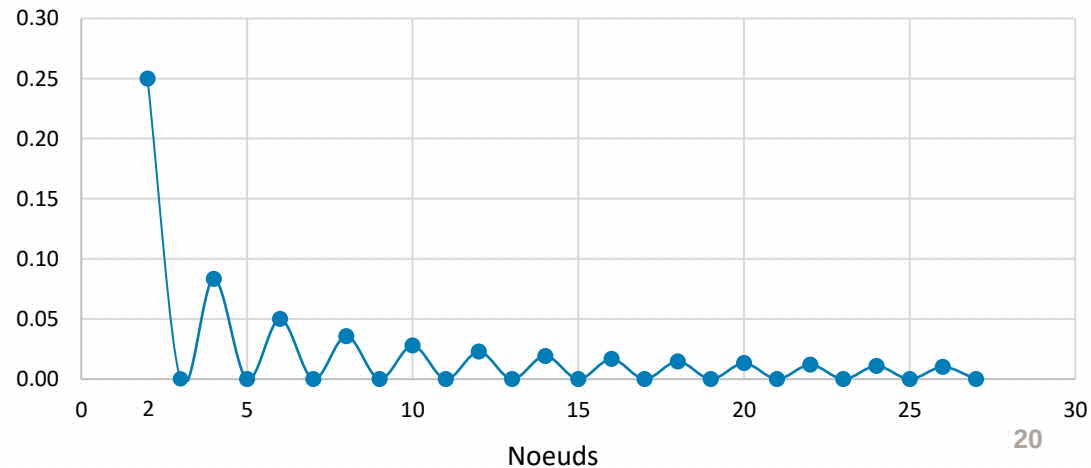
Noeuds	Bonds	Bonds - (N/4+1/4)
2	1.00	0.250
3	1.00	0.000
4	1.33	0.083
5	1.50	0.000
6	1.80	0.050
7	2.00	0.000
8	2.29	0.036
9	2.50	0.000
10	2.78	0.028
11	3.00	0.000
12	3.27	0.023
13	3.50	0.000
14	3.77	0.019
15	4.00	0.000
16	4.27	0.017
17	4.50	0.000
18	4.76	0.015
19	5.00	0.000
20	5.26	0.013
21	5.50	0.000
22	5.76	0.012
23	6.00	0.000
24	6.26	0.011
25	6.50	0.000
26	6.76	0.010
27	7.00	0.000



moyen de bonds



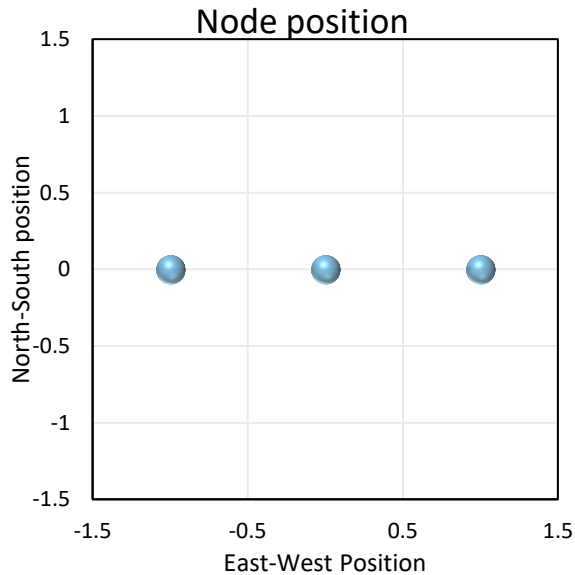
moyen de bonds - (N/4+1/4)



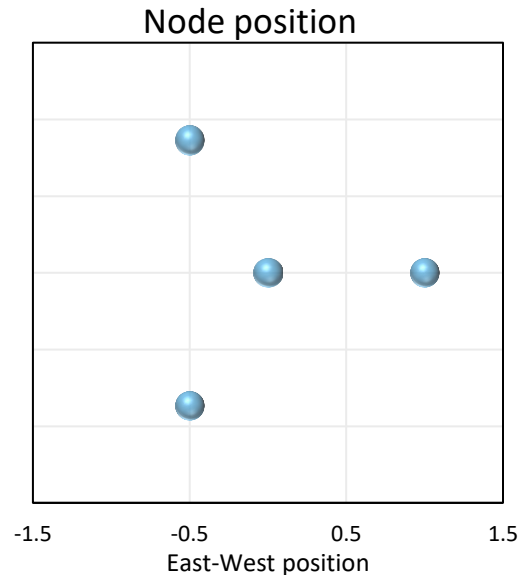
Topologies et densification des nœuds.

- Comparaison de topologies en:
 - ligne
 - anneau
 - double-anneau
 - maillage en triangle
 - maillage en losange
 - étoile
 - double étoile
 - arbre
 - maillage complet
- Variation du nombre de nœuds de 3 à 20.

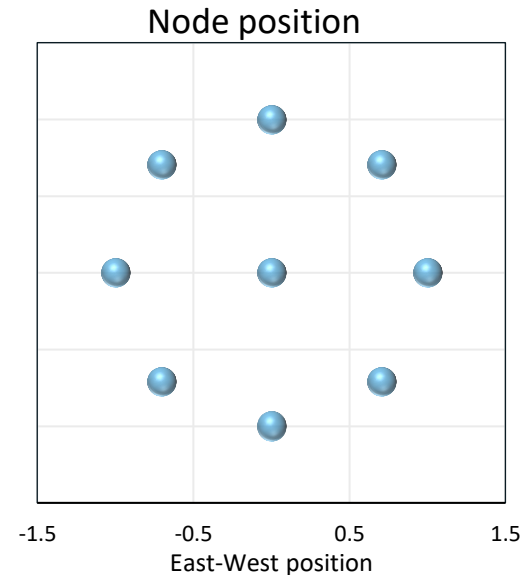
Analysis methodics (Méthode d'analyse).



3 nodes



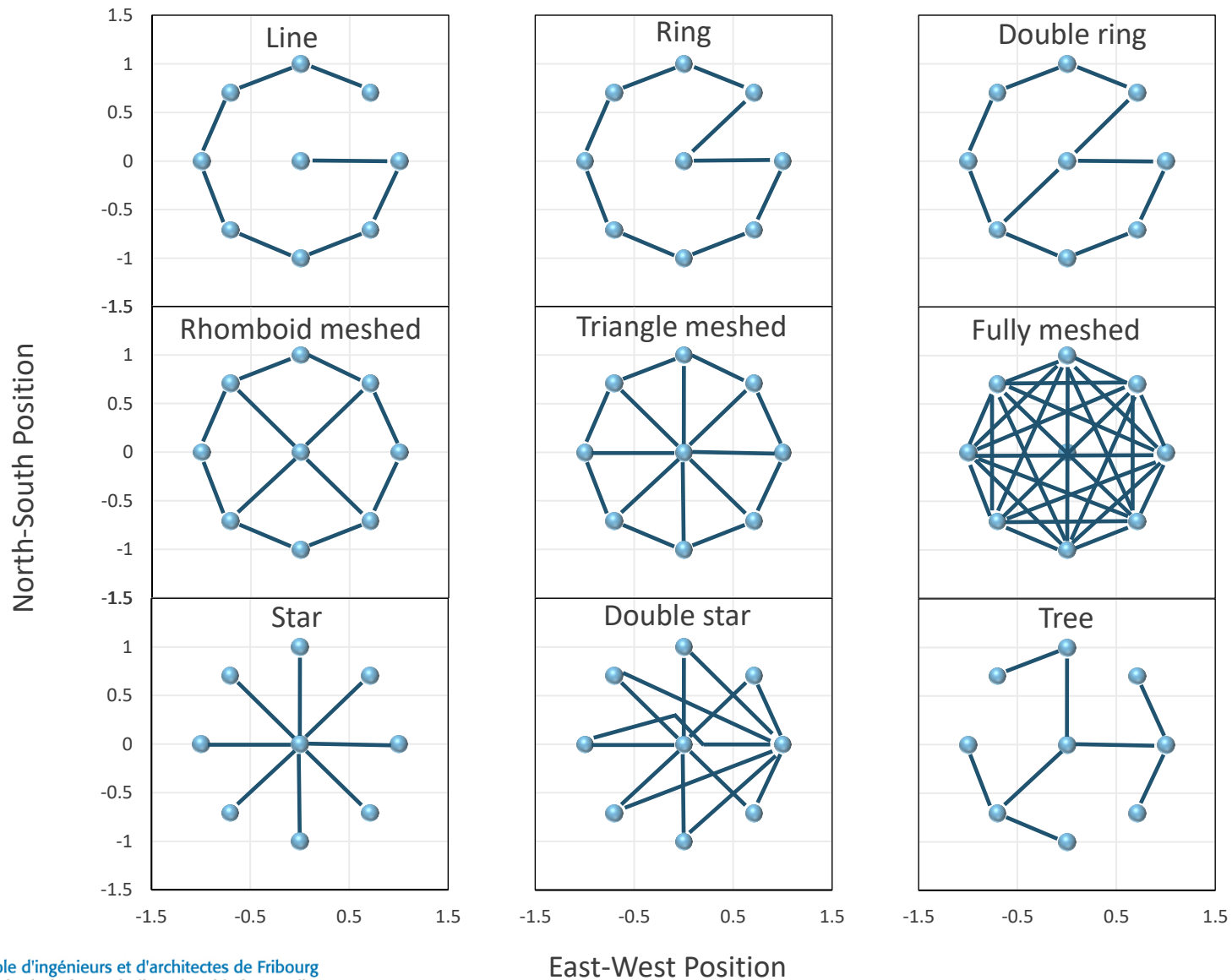
4 nodes



9 nodes

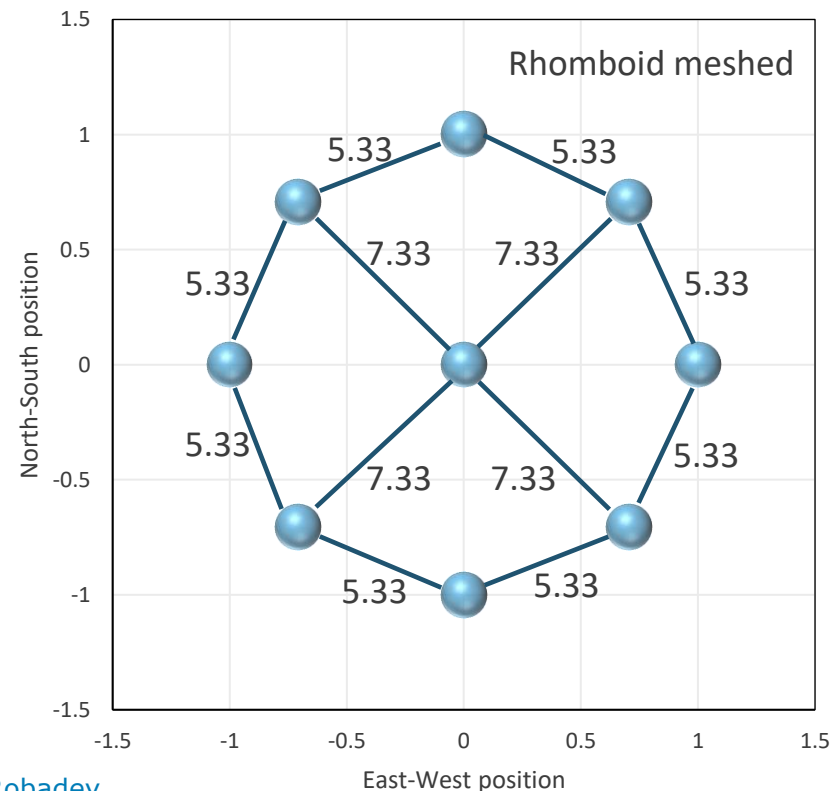
rayon = 100 km → calcul des coûts possible.

Types de topologies.

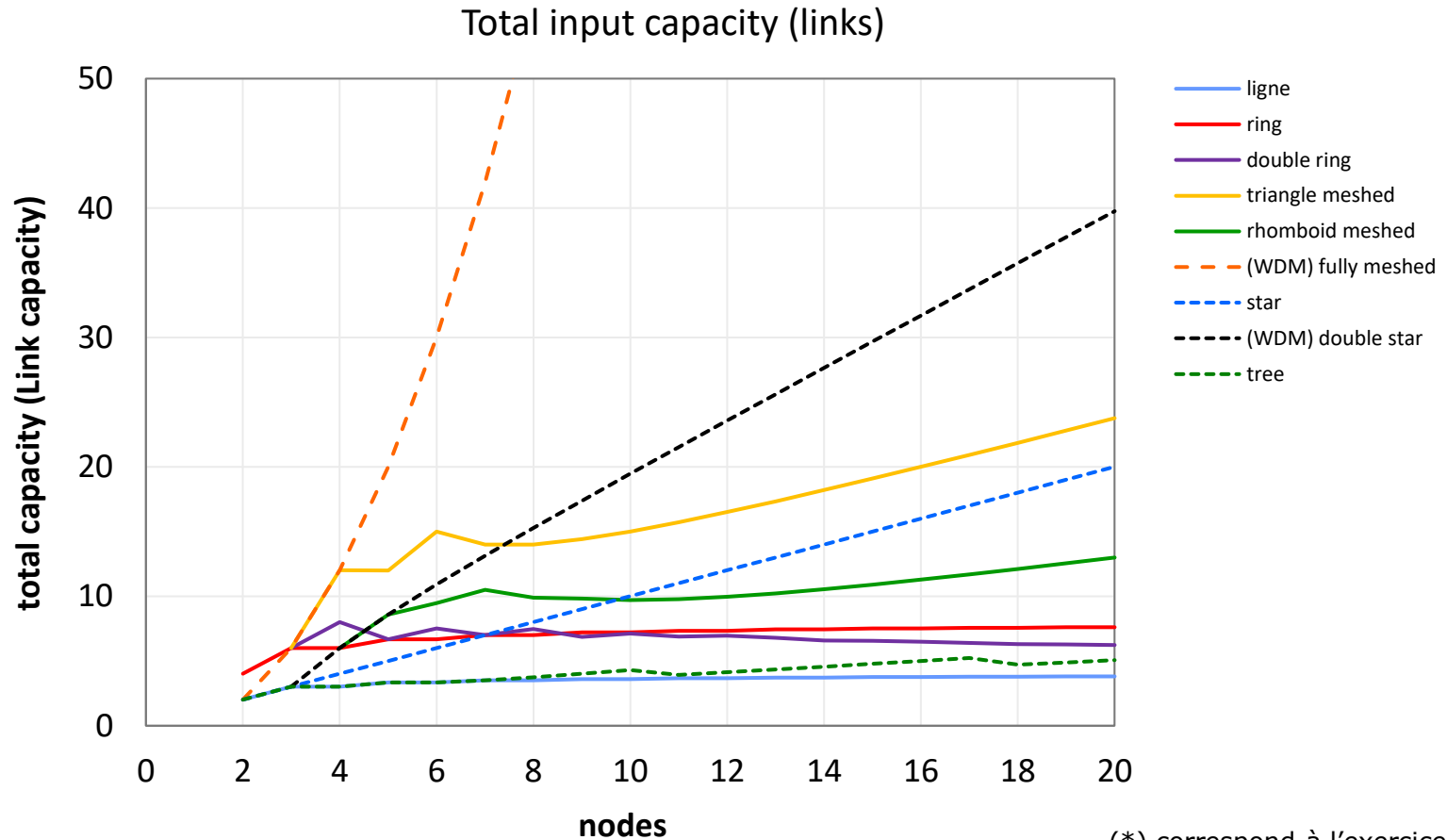


Calcul de la capacité totale du réseau

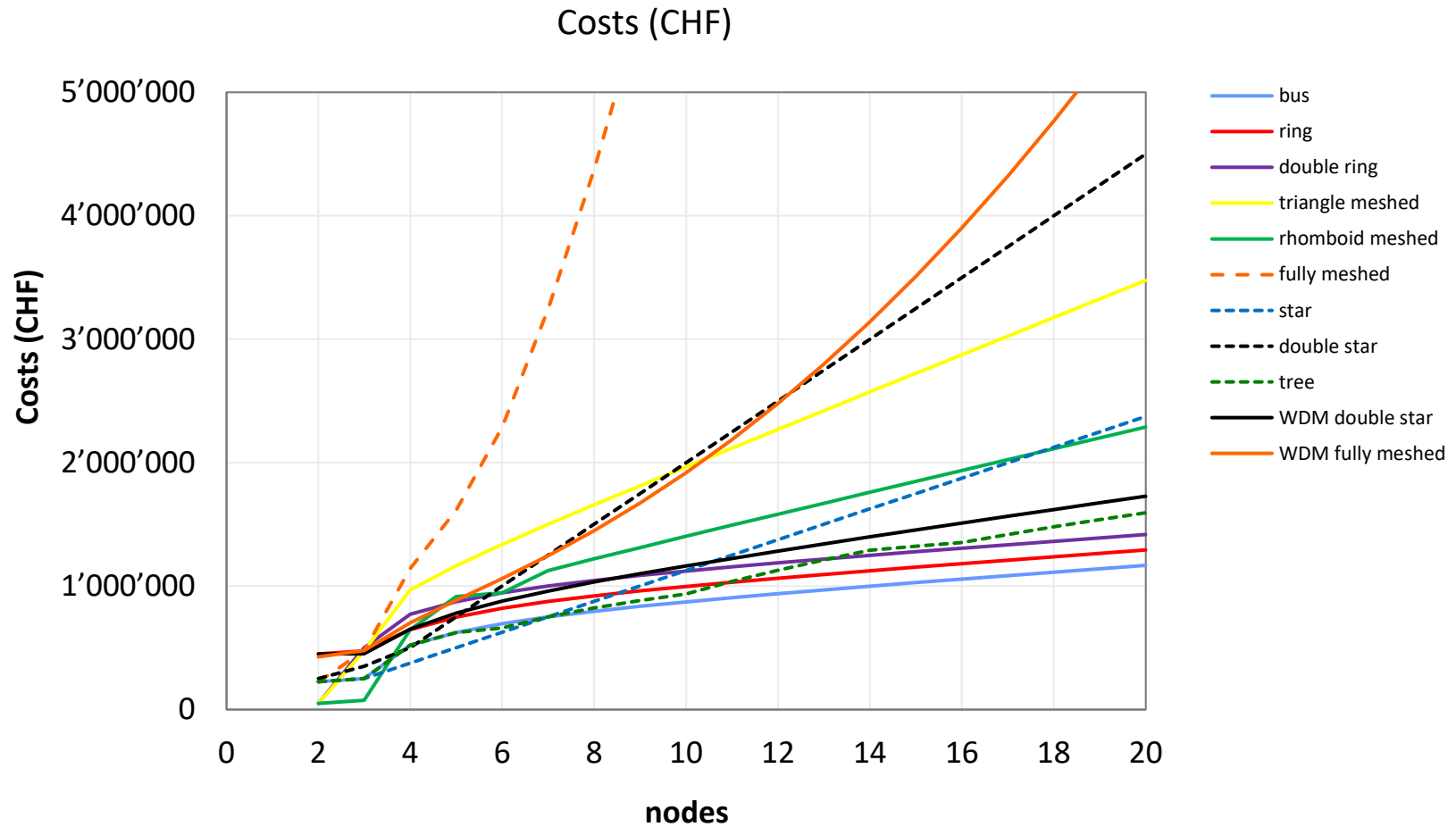
- Pour un trafic équipotentiel entre tous les nœuds.
- Avant l'apparition d'une congestion sur un lien.
- Méthode:
 - prendre toutes les connections entre tous les nœuds = $n \times (n-1)$ connections.
 - compter le nombre de connections passant par chaque lien.
 - prendre le lien **le plus chargé**.
 - **diviser la capacité d'un lien par le nombre de connections empruntant ce lien** (par exemple $10 \text{ Gb/s} / 7.33 = 1.4 \text{ Gb/s}$)
 - **Multiplier par le nombre total de connections.**
(exemple $9 \times 8 \times 1.4 \text{ Gb/s} = 98 \text{ Gb/s}$)



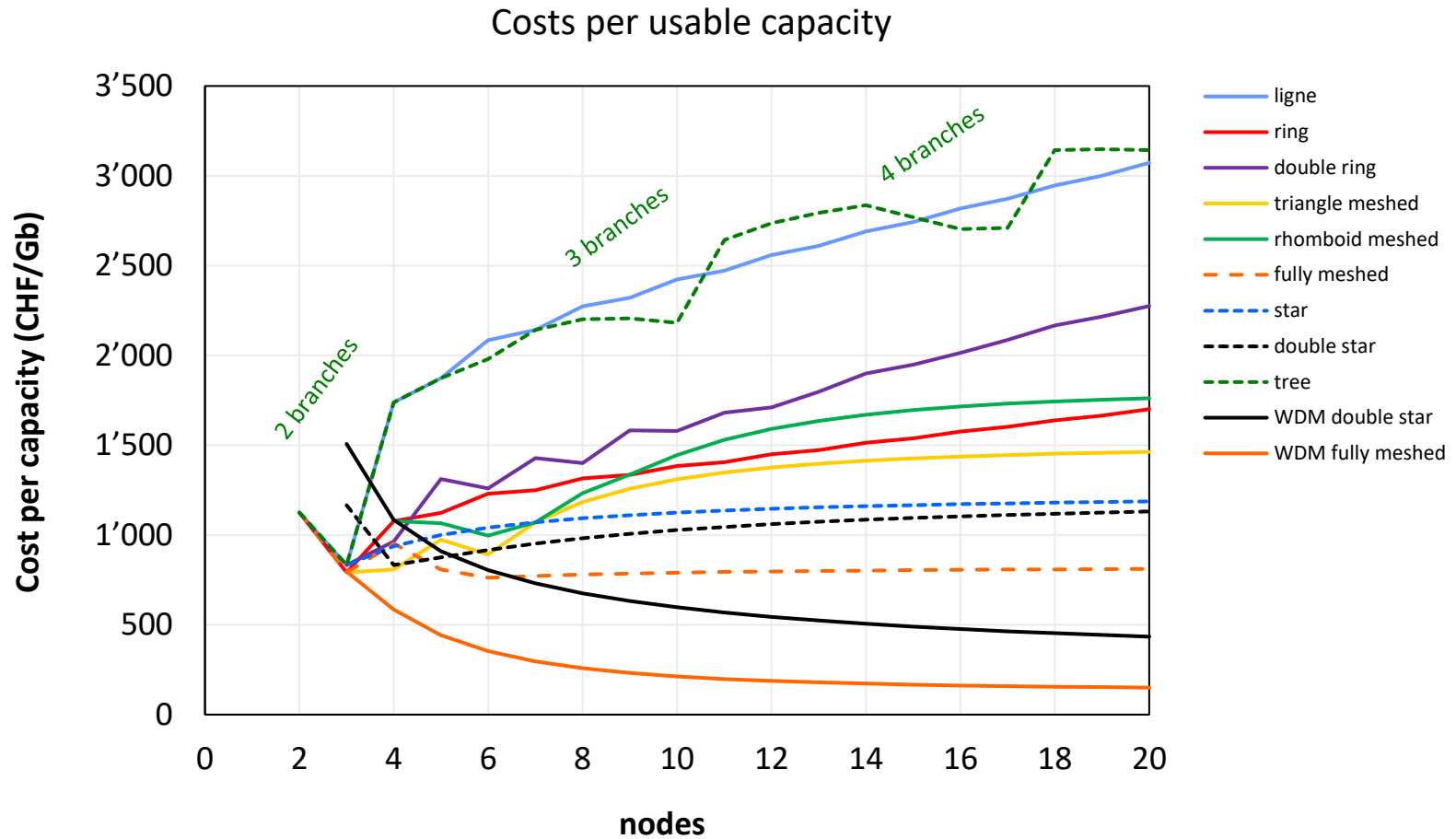
Capacité totale pour un trafic any to any (*)



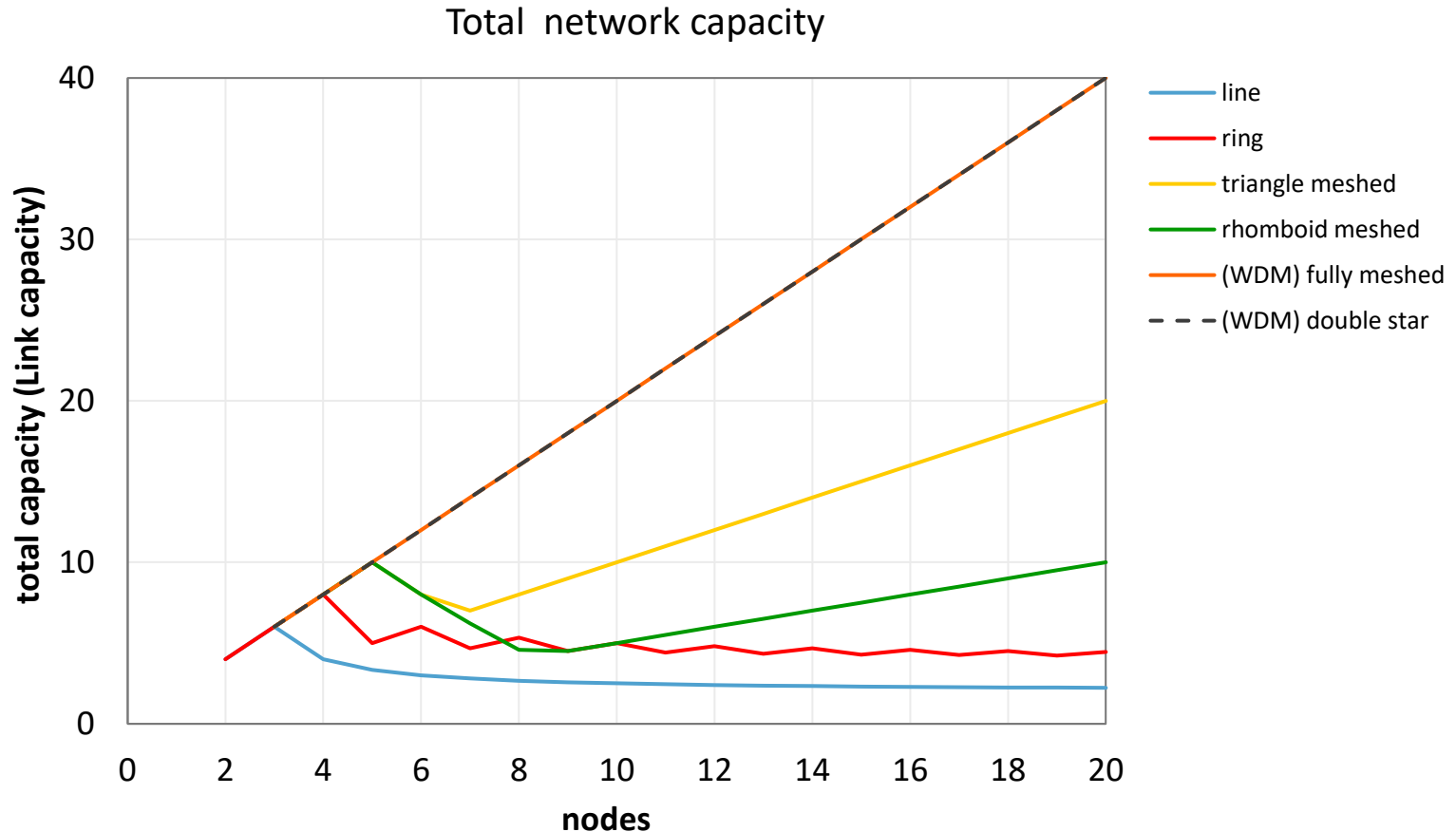
Coûts pour un trafic any to any.



Coûts par capacité (any to any)

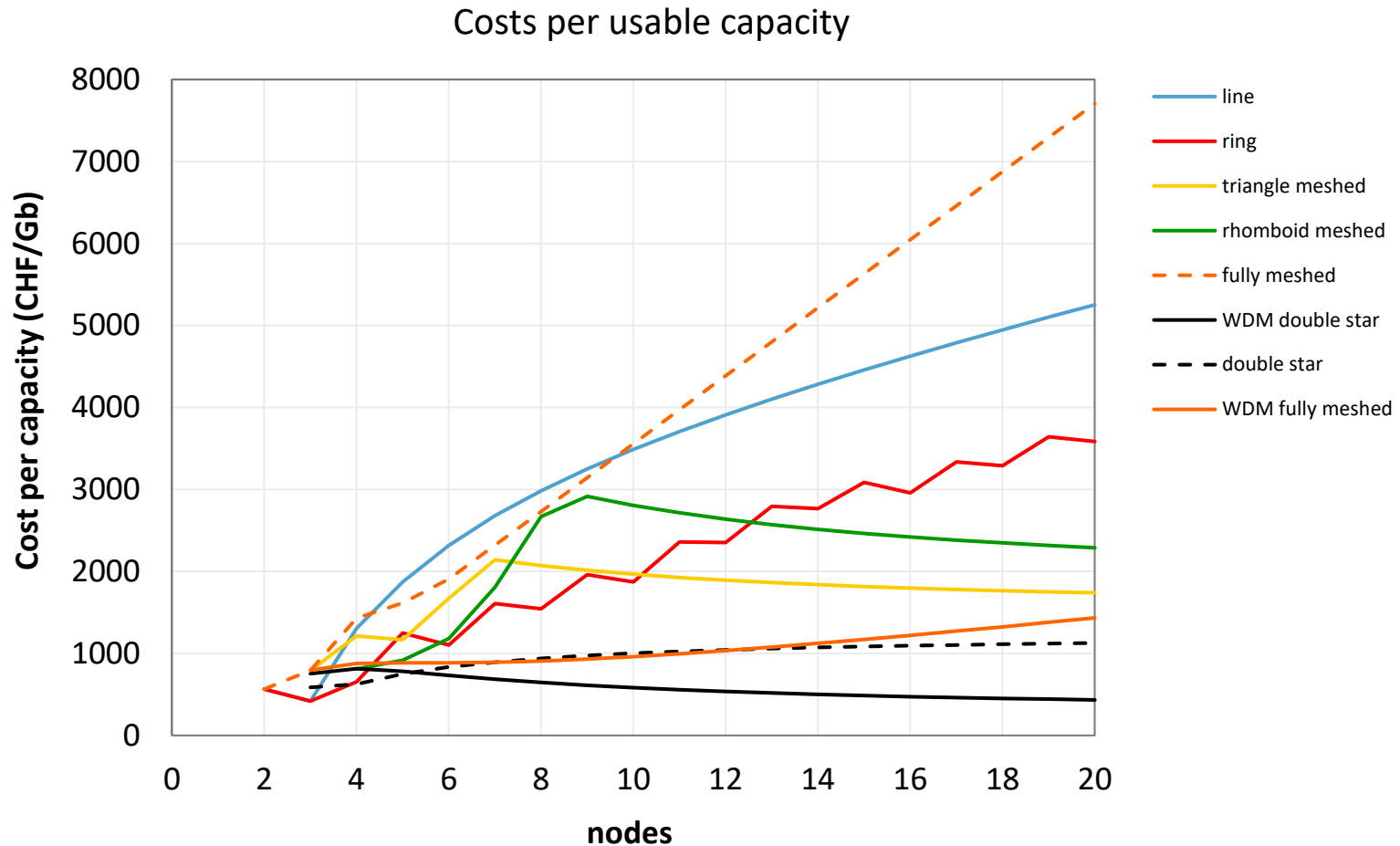


Capacité totale (trafic datacentrique: 2 Datacenters → tous les nœuds)



Double star et fully meshed sont optimaux.

Coûts par capacité (datacentrique)



WDM double star: the best, WDM fully meshed 2nd, fully meshed the worst !

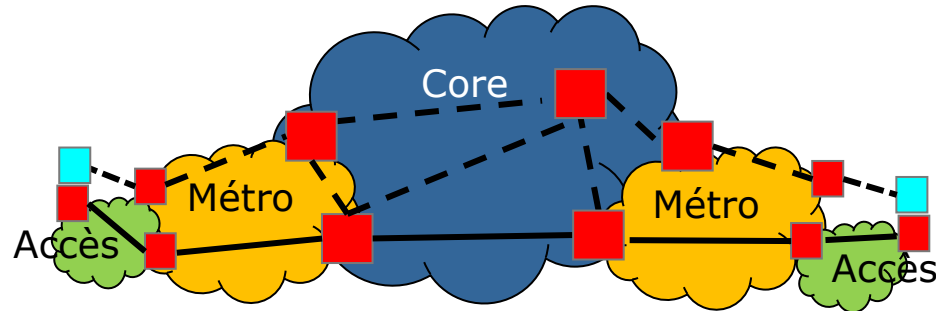
Optimisation des coûts du réseau global

- Un calcul des coûts approximatif doit être organisé avec comme éléments clefs, le coût des:
 - Interconnexions avec réseaux externes, datacenter, core-métro.
 - Nœuds core.
 - Ampli optiques.
 - Kilomètres de fibres.
- Le réseau global doit être capable de:
 - Distribuer l'information à travers tous les segments
 - Supporter l'évolution sans changer le concept et la topologie de base.
 - **Résister à une panne** réseau dans le core et le métro
 - Assurer une disponibilité de 99.9xx% du réseau tout au long de l'année.

Disponibilité

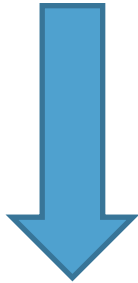
- Durant la conception, il faut calculer la disponibilité du réseau de bout en bout (Home-Access-Metro-Core-Access-Home) pour pouvoir l'assurer aux autres opérateurs et aux clients commerciaux par des SLA (Service Level Agreement):
 - 99.9%: «bronze»
 - 99.99%: «silver»
 - **99,999%: «gold ou platinum»**
- **Disponibilité** = temps de connectivité/(1 année).
- Calcul = **probabilité de pannes combinées** «nœuds + fibre» dans tout le réseau. Solution d'amélioration: doubler ou tripler les connexions.

Disponibilité (ii).



$$\text{disponibilité} = 99.95\% * 99.999\% * 99.999\% * 99.999\% * 99.95\% = 99.9\%$$

$$\text{avec double accès: disponibilité} = 99.999\% * 99.999\% = 99.99\%$$



Le double accès
fait toute la différence.

Availability %	Downtime per year	Downtime per month	Downtime per week
90% ("one nine")	36.5 days	72 hours	16.8 hours
95%	18.25 days	36 hours	8.4 hours
97%	10.96 days	21.6 hours	5.04 hours
98%	7.30 days	14.4 hours	3.36 hours
99% ("two nines")	3.65 days	7.20 hours	1.68 hours
99.5%	1.83 days	3.60 hours	50.4 minutes
99.8%	17.52 hours	86.23 minutes	20.16 minutes
99.9% ("three nines")	8.76 hours	43.8 minutes	10.1 minutes
99.95%	4.38 hours	21.56 minutes	5.04 minutes
99.99% ("four nines")	52.56 minutes	4.32 minutes	1.01 minutes
99.995%	26.28 minutes	2.16 minutes	30.24 seconds
99.999% ("five nines")	5.26 minutes	25.9 seconds	6.05 seconds
99.9999% ("six nines")	31.5 seconds	2.59 seconds	604.8 milliseconds
99.99999% ("seven nines")	3.15 seconds	262.97 milliseconds	60.48 milliseconds
99.999999% ("eight nines")	315.569 milliseconds	26.297 milliseconds	6.048 milliseconds
99.9999999% ("nine nines")	31.5569 milliseconds	2.6297 milliseconds	0.6048 milliseconds

Conclusion.

- Le réseau doit être conceptualisé de bout en bout.
- Le trafic est maximalement downstream et datacenter centrique.
- Une convergence IP/optical est en phase de réalisation dans le core par GMPLS et le ROADM.
- Le métro-access est principalement layer 2 - Ethernet.
- L'analyse des topologies et des grandeurs de réseaux montrent que les anneaux doivent rester petits < 10 nœuds. Les étoiles et les maillages peuvent croître sans augmentation du coût par capacité.

Merci de votre attention !

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