

# Huit années de réseaux FTTO au LEGI

Gabriel Moreau, Olivier De-Marchi

Laboratoire LEGI - UMR5519 - CNRS / UGA / Grenoble-INP - France

6 mai 2021



Cette présentation est sous : LICENCE ART LIBRE

<http://artlibre.org/>



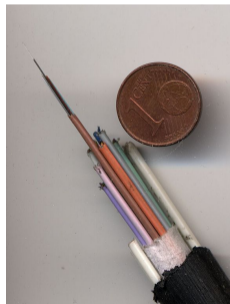
# Quelques éléments de langage...

## Histoire

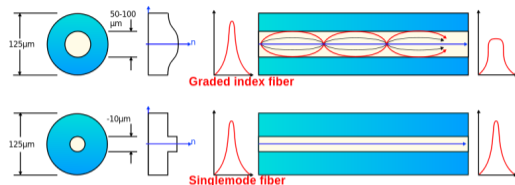
- 1977 : Première liaison en fibre optique à Chicago
- 2012 : Record de débit (laboratoire) : 1 petabit/s sur 52,4 km

## FFTO

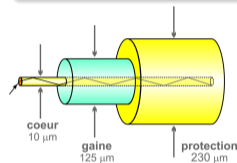
- Fiber To The Office (Voir FFTH...)
- Objectif : amener la fibre jusque dans le bureau
- Pose d'un câble fibre optique vers des boîtiers de dérivation
- Jarretière fibre entre le boîtier et le bureau
- Micro-commutateur dans la goulotte
- Connexion poste de travail par câble RJ45 classique



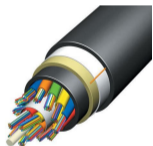
# Quelques éléments de langage...



## Deux types de fibre aujourd'hui



- **Multimode** (50/125  $\mu\text{m}$ ) - laser 850 nm (rouge). Fibre à gradient d'indice réservé pour les courtes longueurs ayant un gros coeur. Fibre chère (OM3, OM4) si besoin de performance (10 Gb/s > 100 m ou 40 Gb/s) !
- **Monomode** (9/125  $\mu\text{m}$ ) - laser 1310 nm et/ou 1550 nm. Fibre à saut d'indice à petit coeur, pas chère, multiplexage de longueurs d'onde, bidirectionnel, grande distance (> 10 km), débit *illimité* si ce n'est des extrémités (transceivers)...



CODE COULEURS OPERATEURS

CODE FOTAG IEEE 802.8		
N°	TUBE	FIBRE
1	Bleu	Bleu
2	Orange	Orange
3	Vert	Vert
4	Marron	Marron
5	Gris	Gris
6	Blanc	Blanc
7	Rouge	Rouge
8	Noir	Noir
9	Jaune	Jaune
10	Violet	Violet
11	Rose	Rose
12	Turquoise	Turquoise

OPERATEUR : ORANGE		
N°	TUBE	FIBRE
1	Rouge	Rouge
2	Bleu	Bleu
3	Vert	Vert
4	Jaune	Jaune
5	Violet	Violet
6	Blanc	Blanc
7	Orange	Orange
8	Gris	Gris
9	Marron	Marron
10	Noir	Noir
11	Turquoise	Turquoise
12	Rose	Rose

OPERATEUR : SFR		
N°	TUBE	FIBRE
1	Bleu	Bleu
2	Orange	Orange
3	Vert	Vert
4	Marron	Marron
5	Gris	Gris
6	Jaune	Jaune
7	Rouge	Rouge
8	Violet	Violet
9	Blanc	Blanc
10	Noir	Noir
11	Rose	Rose
12	Turquoise	Turquoise

## Câble optique

- 72 ou 144 fibres
- 12 tubes de 6 ou 12 fibres
- Chaque tube et chaque fibre à une couleur
- Choisir un unique code couleur !
  - ▶ FOTAG IEEE 802.8
  - ▶ Orange (France Telecom)
- Câble FTTO  
On peut extraire un tube (couper),  
mais pas une fibre seule



## Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels

Laboratoire de recherche publique en mécanique des fluides

- Environ 150 personnes (moitié permanent, moitié temporaire)
- Deux bâtiments datant de la fin des années 60 dont un hangar
- Un fort historique expérimental (développement de la houille blanche)
- Des liens forts avec les centres de calcul nationaux (IDRIS, CINES...)



## Les anciens locaux

- Un bâtiment A de bureau
- Un immense hangar double GH ayant aussi des bureaux





## Des nouveaux locaux

- Une très ancienne demande CPER
- Bâtiments rectorats délégués à Grenoble-INP
- Un nouveau bâtiment K de bureau (K'fet, Amphi)
- Une partie utilisée pour rénover un sous ensemble du G



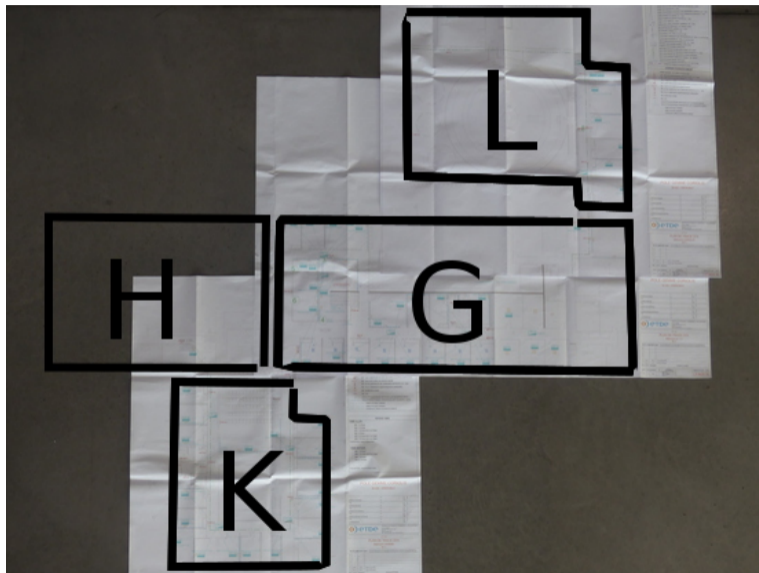


## Une nouvelle plaque tournante Coriolis II

- Problème d'alignement entre Coriolis I et le nouveau tramway. . .
- Reconstruction sur le campus - bâtiment L
- Financement exceptionnel (retard du projet campus)

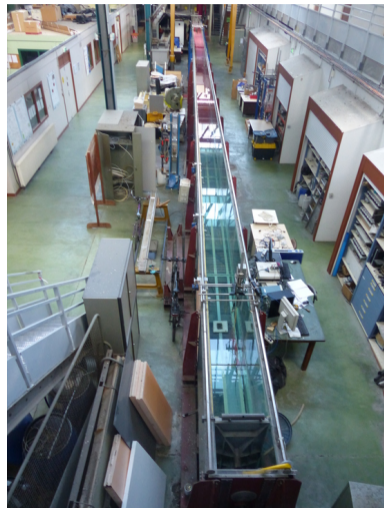


# Plan



## Des expérimentations d'exceptions

- Un canal à houle de 36 m
- Une soufflerie
- Une plaque tournante Coriolis II de 13 m
- Un tunnel hydrodynamique
- ...



## Du numérique depuis plus de 30 ans

- Clusters de calcul en local (756 coeurs)
- Baies de stockage (environ 1,5 Po)
- Simulation dans les centres régionaux et nationaux (calcul jusqu'à 16000 coeurs par exemple)
- ...



## Mettre les données au coeur du projet

- Acquisition des données de plus en plus volumineuses (par caméra rapide par exemple 90 000 fps)
- Transfert direct vers les baies centrales (pas de cascade de commutateur, du point à point au maximum)
- Traitement en parallèle des images sur le cluster du laboratoire

## Opportunité

- Profiter du neuf pour améliorer le vieux petit à petit
- Avoir un système modulaire où ajouter une prise est une opération localisée entre le bureau et le boîtier de dérivation

## Mettre les données au coeur du projet

- Une et une seule salle serveur au centre des bâtiments (dans la partie rénovée du G).  
**Aucun sous local technique**
- Un **réseau point à point direct** vers toutes les expérimentations et certains postes de travail pouvant aller à 10 Gb/s (SFP+) ou plus à terme : 25 Gb/s (SFP28), 40 Gb/s, 100 Gb/s...
- Avoir une arrivée 10 Gb/s sur la plaque tournante Coriolis II (distante de plus de 75m de la salle serveur) - projet en cours pour la passer en 25 Gb/s (SFP28) en 2022

## Limitations

- Tout n'est pas possible
- Budget de départ fixe ! Pas de rallonge possible (fort surcoût des fondations)
- Officiellement rien pour la rénovation. . .
- Le laboratoire n'est pas le maître d'oeuvre, il n'a pas d'existence légale. Pilotage par une université donc plus de personnes dans la boucle et pas forcément les futurs utilisateurs. . .
- Attention au cahier des charges (être très vigilant et ne pas faire confiance aveuglement aux bureaux d'études)
- . . .

# Le PROJET - Cahier des charges

- Bien **préparer** son cahier des charges (en avance)
- Être **prescripteur** (si on ne rédige pas) du cahier du charge
- Séparer si possible le **lot passif** (câblage) du **lot actif** (micro-commutateur)
- **Visitez** un autre site FTTO !
- Demander un **PoC** (Proof of Concept)
- Bien **suivre le chantier** / s'investir
- **Recette** obligatoire de chaque étape
- Réclamer une copie du **DOE** (Dossier des Ouvrages Exécutés - tout ce qui a été fait)





## Double boucle

- Boucle multimode par précaution financière (transceiver) avant **abandon** (inutile et dépassée)
- Boucle tout **monomode**

## 2 boucles (2013) + 1 (2014)

- Boucle K
  - Boucle GL
  - Boucle H
- 
- Pose très rapide / facile de franchir un mur
  - Fixe sur la tranche des chemins de câbles
  - Très léger / impact faible sur un bâtiment



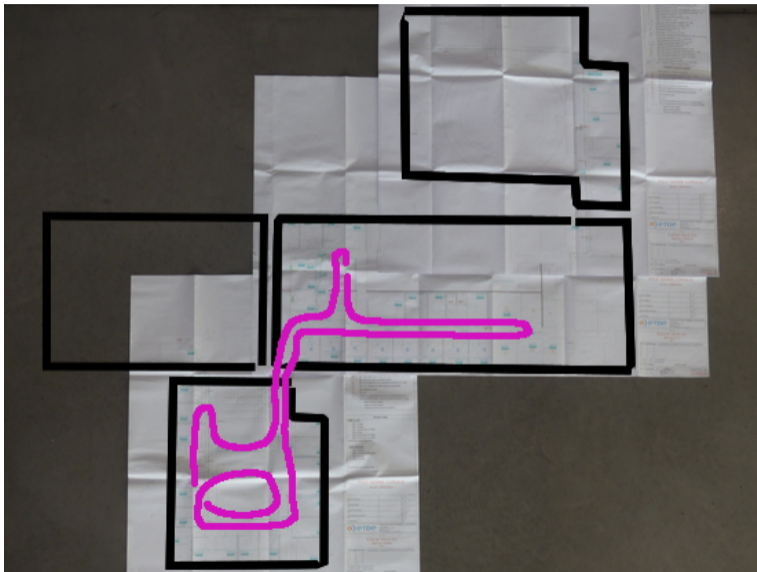
## 2 boucles (2013) + 1 (2014)

- Boucle K
- Boucle GL
- Boucle H

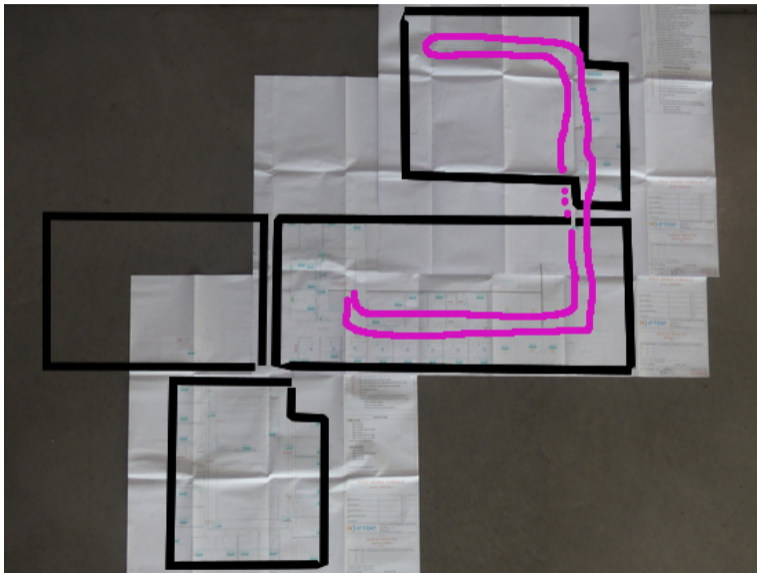
- Deux extrémités
- Tout pré-connectés en LC UPC  
(Ultra Physical Contact - Droit - Couleur bleue)
- Redondance / Haute disponibilité



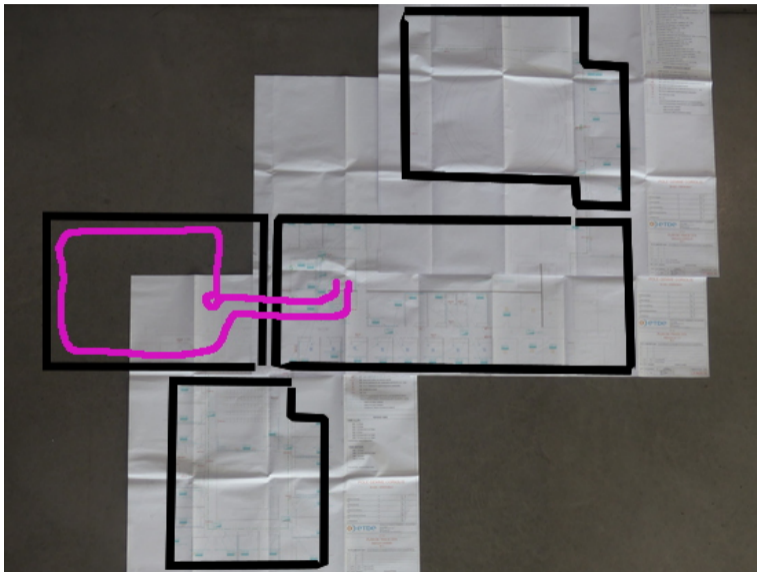
# Boucle 1



## Boucle 2

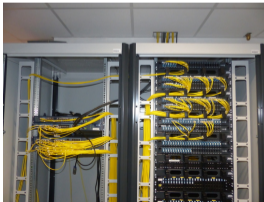


# Boucle 3



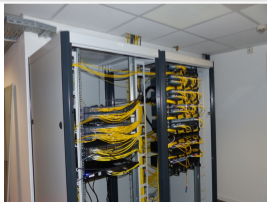
# Brassage centralisé

- **Ultra simplifié**, division par 4 du nombre de port (micro-commutateur 6 ports)
- **Câblage** par défaut **en duplex** sur **deux brins** (transceiver légèrement moins cher en 2020, simplex cher en 2013 !)
- Passage en simplex (bidi) si problème sur un brin le temps de réparer !
- Passage en simplex pour doubler la capacité du réseau (réserve, commutateur, mixte commutateur / prise optique)



# Brassage centralisé

- 6 commutateurs HP Comware A5500 24 ports SFP (ex H3C) + 1 commutateur Dell 10 Gb/s
- 2 modules 2 ports 10 Gb/s
- Fusion des commutateurs via IRF sur 10 Gb/s CX4
- Prendre des commutateurs acceptant les **transceivers génériques**
- Attention au prix sur les transceivers 1 Gb/s (problème si prix de vente >30 €)



# Cheminement

- Pensez à laisser du **mou** lors de la pose du câble. . .
- Cheminement possible sur la tranche des chemins de câble
- 400 V et câble optique font bon ménage
- Passage en gaine lors d'un changement de direction / chemin de câble / passage de cloison



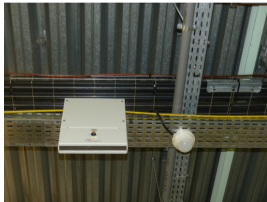


# Boîtier de dérivation

Deux solutions techniques :

- Couper un des tubes du câble à deux mètres à droite ou à gauche du boîtier et extraire les fibres de ce tube dans le boîtier. Le tube peut être réutilisé dans l'autre sens sur un autre boîtier ;
- Enlever la gaine sur 50cm du câble et mettre tous les tubes dans des cassettes puis couper un tube afin de brancher ses fibres des deux cotés.

Attention à bien tout référencer (câbles, boîtiers, tubes, fibres. . .)

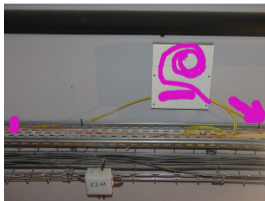


# Boîtier de dérivation

Deux solutions techniques :

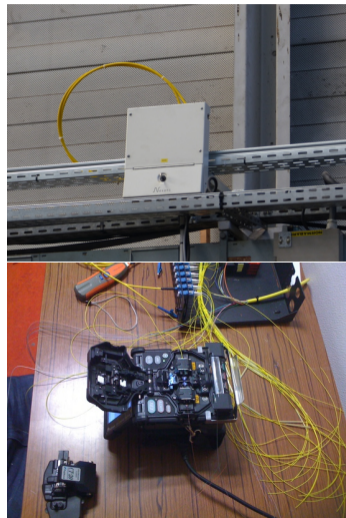
- Couper un des tubes du câble à deux mètres à droite ou à gauche du boîtier et extraire les fibres de ce tube dans le boîtier. Le tube peut être réutilisé dans l'autre sens sur un autre boîtier ;
- Enlever la gaine sur 50cm du câble et mettre tous les tubes dans des cassettes puis couper un tube afin de brancher ses fibres des deux cotés.

Attention à bien tout référencer (câbles, boîtiers, tubes, fibres. . . )



# Boîtier de dérivation

- Fusion directe des jarretières venant des micro-commutateurs
- Ou pose de **pigtails** et de **prises LC-LC** au niveau du boîtier (préférable car plus souple)
- Prendre des pigtaills de la même marque que le câble !



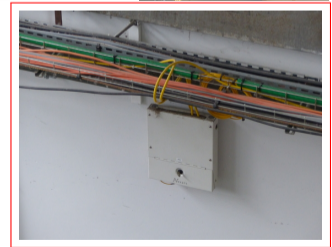
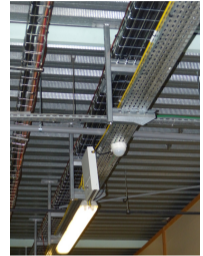
# Boîtier de dérivation

- Boîtier Nexans en tôle robuste pouvant accueillir des cassettes (enroulement fibres)
- Système entièrement passif (aucun courant électrique)
- 2x12 connecteurs LC
- LC à gauche part à gauche / LC à droite part à droite
- Possibilité de brancher un micro-commutateur (double port fibre) sur les deux cotés de la boucle - redondance critique

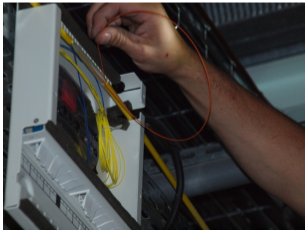
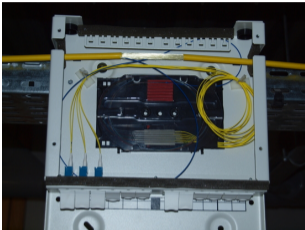
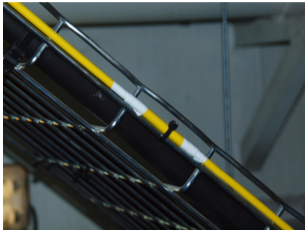


# Boîtier de dérivation - Positionnement

- Laisser libre le chemin de câble
- Fixer si possible le boîtier sur la tranche coté des consoles de fixation
- Sinon, ne pas gêner pas l'ajout futur d'autres câbles (jarretières arrivant par dessous)



# Boîtier de dérivation - Exemple d'une extraction



# Du boîtier de dérivation au micro-commutateur



- Positionnement des boîtiers de dérivation
- Distribution locale de la fibre

# Du boîtier de dérivation au micro-commutateur



- Positionnement des boîtiers de dérivation
- Distribution locale de la fibre



# Du boîtier de dérivation au micro-commutateur



- Optimisation de la répartition de la distribution
- Redondance des chemins par câble cuivre sur le 6ième port
- Activation du Spanning Tree
- Surcoût faible

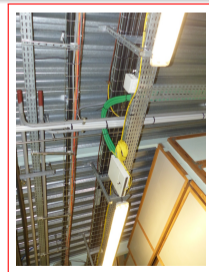
# Micro-commutateur - Positionnement / Rattachement

- En position horizontale
- En position verticale
- En boîtier technique
- 4 ports RJ45 externes,
- 2 ports internes (SFP et/ou RJ45 à la commande), double attachement du commutateur possible (redondance - non utilisé au LEGI)



# Micro-commutateur - Positionnement / Rattachement

- Éviter les commutateurs au raz du sol (ménage, handicapé) sauf éventuellement en salle de réunion
- Fixer à la même hauteur que les prises de courant pour les femmes de ménage !
- Enrouler le mou des jarretières du côté commutateur (non du boîtier de dérivation)
- Si possible, mettre en gaine les jarretières dans le chemin de câble (protection)

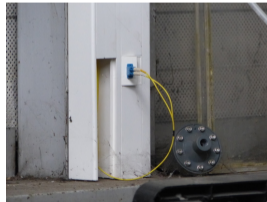


- **Alimentation locale par transformateur 54V** dans la **goulotte** connecté au 220V via la **prise la plus proche** (ondulée ou non)
- Alimentation 54V par zone possible (non réalisé chez nous) ou globale (attention aux barres de cuivre nécessaire)
- Connexion des PC via un câble standard RJ45
- Connexion de bornes Wifi en PoE (ou PoE+)
- Connexion des téléphones IP en PoE
- **Isolation galvanique** (électrique) des bureaux et du coeur de réseau
- Décentralisation du PoE+ au plus proche de son utilisation (**minimise les pertes**)



# Prises LC - Très haut débit

- Expérimentations / PC d'acquisition (caméra rapide...)
- Station de travail ayant beaucoup d'entrée sortie (3D, montage vidéo...)
- Liaison directe en point à point avec la salle serveur en SFP+ ou SFP28 (futur) !



## Système de nommage pérenne sur 40 ans !

- Commun BAP E / BAP G
- Boucles : 1, 2, 3
- Boîtier raccordement : BR10, BR11 ... BR35, BR37
- Écrire au marqueur sur les boîtiers (Boucle, Nom, Tubes, Sens...)
- **Prises / Micro-commutateur : MS01 ... MS86 !**
- BR29.04d-MS213 → Boucle 2, BR29, prise 4 (d = duplex), MS 13 duplex.
- BR29.03a-MS206 → Boucle 2, BR29, prise 3 a (a ou b = simplex), MS06 simplex
- Étiquette à mettre sur la goulotte et non sur le commutateur !



# Micro-commutateur - Interface / P erennit 

- Micro commutateur Nexans GigaSwitch V3 TP SFP-I 48V ES3
- Interface Web fluide, interface SSH, interface SNMP
- Autres marques : attention   valider vos protocoles RTSP, VLAN, 802.1X... (PoC)

## NEXANS

Advanced Networking Solutions

Switch Management

Description: [GigaSwitch V3 TP SFP-I 48V ES3](#) | Name: [swG131-legi-B2](#) | Location: [not defined](#) | Contact: [not defined](#)

[Port State](#) | [Spanning Tree State](#) | [PoE State](#) | [Switch Setup](#) | [VLAN Table](#) | [Local Accounts](#) | [Name Setup](#) | [Prioritisation-Limiter](#) | [Cable Diagnostic](#) | [Local Log](#) | [Device Info](#) | [LOGOUT](#)

Port State													
Port No.	Port Descr.	Port Name	Link Type Port Type	Speed Duplex Setup	Current Link / EEE State	Autocross. Autopol. Setup	Error Counter	Security Mode (MAC Addr.)(MAC State)	Security State (Allowed MACs Overflow Addr.)	Active Default VLAN ID	Active Voice VLAN ID	Active Trunking Mode	Flow Control State
<a href="#">0 Setup</a>	MGMT	-	- Internal Management	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
<a href="#">1 Setup</a>	TP-1	<none>	User with Loop Protection TP 10/100/1000 MBit	Autoneg	no link	ENABLED	0 <a href="#">All Counters</a>	Disabled	Disabled	332	93	disabled	no link
<a href="#">2 Setup</a>	TP-2	<none>	User with Loop Protection TP 10/100/1000 MBit	Autoneg	no link	ENABLED	0 <a href="#">All Counters</a>	Disabled	Disabled	335	93	disabled	no link
<a href="#">3 Setup</a>	TP-3	<none>	User with Loop Protection TP 10/100/1000 MBit	Autoneg	no link	ENABLED	0 <a href="#">All Counters</a>	Disabled	Disabled	342	308	disabled	no link
<a href="#">4 Setup</a>	TP-4	<none>	User with Loop Protection TP 10/100/1000 MBit	Autoneg	no link	ENABLED	0 <a href="#">All Counters</a>	Disabled	Disabled	342	93	disabled	no link
<a href="#">5 Setup</a>	UPLINK-SFP <a href="#">SFP Info</a>	<none>	Uplink/Downlink Fiber 1000 MBit	1000FDX	1000FDX	-	0 <a href="#">All Counters</a>	Disabled (More than 3 MAC's)	Disabled	1	disabled	802.1Q Tagging	NOT ACTIVE
<a href="#">6 Setup</a>	UPLINK-TP	<none>	User TP 10/100/1000 MBit	Autoneg	no link	ENABLED	0 <a href="#">All Counters</a>	Disabled	Disabled	1	disabled	disabled	no link

MTBF - temps moyen entre pannes

Bien avoir du matériel actif avec une MTBF > 20 ans, voir plus !

Firmware

Accès gratuit   vie

# Micro-commutateur - Administration

- Accès parallèle à N micro-switchs via cluster-ssh (tssh)
- Pas besoin du logiciel Nexans (qui ne fonctionne pas sous GNU/Linux) car nombre de commutateur < 100

334 93 disabled 4 TP-4 autoneg 100fdx 0 342 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG130-leg1-B2#	342 93 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 341 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG130-leg1-B3#	341 93 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 341 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG130-leg1-B4#	335 93 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 341 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG131-leg1-B1#
342 300 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 342 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG131-leg1-B2#	332 93 disabled 4 TP-4 autoneg 100fdx 0 333 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG131-leg1-B3#	335 93 disabled 4 TP-4 autoneg 100fdx 0 335 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG132-leg1-B1#	341 93 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 342 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swG133-leg1-B1#
4 TP-4 autoneg 100fdx 0 1 disabled disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled disabled 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swH002-leg1-B1#	4 TP-4 autoneg 100fdx 0 344 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK001-leg1-B1#	4 TP-4 autoneg 1000fdx 0 344 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK002-leg1-B1#	4 TP-4 autoneg 100fdx 0 344 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK003-leg1-B1#
2 TP-2 autoneg <no link> 0 344 93 disabled 3 TP-3 autoneg 1000fdx/EEEE 0 344 93 disabled 4 TP-4 autoneg 100fdx 0 344 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK004-leg1-B1#	2 TP-2 autoneg <no link> 0 344 93 disabled 3 TP-3 autoneg 1000fdx 0 381 93 disabled 4 TP-4 autoneg 100fdx 0 344 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK005-leg1-B1#	2 TP-2 autoneg <no link> 0 381 disabled disabled 3 TP-3 autoneg <no link> 0 335 93 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 381 disabled disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK006-leg1-R1#	2 TP-2 autoneg 100fdx 0 341 93 disabled 3 TP-3 autoneg <no link> 0 341 93 disabled 4 TP-4 autoneg <no link> 0 341 93 disabled 5 UPLINK-SFP 1000fdx 1000fdx 0 1 disabled 802.1Q tagging 6 UPLINK-TP autoneg <no link> 0 1 disabled disabled swK101-leg1-B1#

Nexman  
Logiciel convivial très performant, peu cher, mais sous Windows



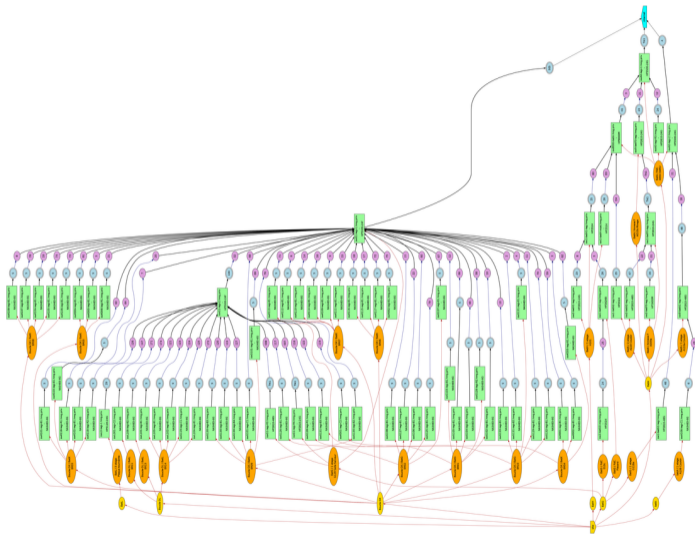
## Exemples de commande

- `interface 1 vlan-id 537`
- `interface 1 voice-vlan-id 97`
- `interface 1 link-type loop-protect`
- `interface 5 trunking-mode dot1q`
- `dhcp snooping mode enabled`
- `tftp 192.168.XXX.YYY get /nexans-hw3/ enha-secu-hw3-410C.img`

## Radius 802.1X

- Serveur Freeradius
- Authentification basée sur l'adresse MAC
- Ordinateur / Copieur / Téléphone / Borne Wi-Fi / Automate
- Même configuration de tous les micro-commutateurs  
génération 3 et/ou génération 5 (Linux)
- Gestion du parc grandement simplifiée
- `tftp 192.168.XXX.YYY get /config-sw/ sw-nexans-radius.cfg`
- `set location Boucle 2 / Bat G / BR23`

# Micro-commutateur - Supervision



- Utilisation de mon outil (libre) Klask pour savoir qui est où (requête SNMP)
- Carte très en étoile, disparition des cascades de commutateurs
- Supervision avec un serveur Nagios

# Zoom sur un exemple unique

## Plaque tournante Coriolis II

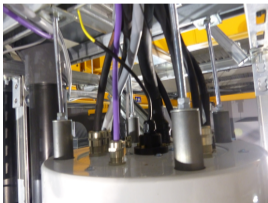
- Piscine tournante de 13 m de diamètre unique au monde (350 t)
- Étude de l'influence de la rotation sur les fluides stratifiés (océan)
- Double collecteur tournant
- Portique indépendant en rotation



# Zoom sur un exemple unique

## 10 Gb/s sur plaque tournante Coriolis II

- Collecteur tournant supérieur
- Multiple réseau (220 V, cuivre, pilotage...)
- Une et une seule fibre monomode au centre
- Utilisation de transceiver simplex (bidi) 10 Gb/s à deux longueurs d'onde



# Quelques grossières erreurs

## Erreurs faciles à éviter

- Goulottes 3 compartiments posées à même le sol, pas de plinthe et aucune protection envers la cireuse et la serpillière. Câble utilisateurs traînant aussi au sol (poussières)  
→ *Imposer une hauteur minimale des goulottes intégrant les prises électriques et les micro-commutateurs*
- Fusion dans les boîtiers de dérivation  
→ *Prévoir une connectique LC/LC facilitant le remplacement d'un élément*
- Premières jarretières optiques posées à même le chemin de câble  
→ *Les mettre par deux ou par trois dans une gaine électrique. . .*
- Pas de redondance de chemin dans les bureaux  
→ *Bien penser son plan de câblage*
- Fixation des boîtiers et des jarretières (gaines) sur le chemin de câble  
→ *Toujours faciliter l'ajout d'un futur câble*

# Conclusion

- Pourquoi la complexité du cuivre : catégorie 7 / prise GG45 ?
- Pourquoi le multimode (pas de bidi, OM4 chère, courte distante, limitation débit. . . ) ?
- Boucle globale monomode + boîtier connecté en LC
- Pose très rapide d'une boucle dans un bâtiment
- Installation locale par petit secteur des zones de bureaux
- Parfait en cas de rénovation / extension
- Ensemble des commutateurs facile à gérer
- Baie de brassage simplifiée
- Jarretière glisse mieux et prend moins de place qu'un cordon RJ45
- Distribue le PoE+ dans les bureaux mais pas de PoE en central !
- Éviter le 54V centralisé (au prix du cuivre) - Isolation galvanique bureaux / central

Plus haut col routiers des Amériques  
Premier village à 50km / Pose 2014

