



Comment utiliser l'optique pour gagner en efficacité énergétique dans les réseaux

Cédric Ware

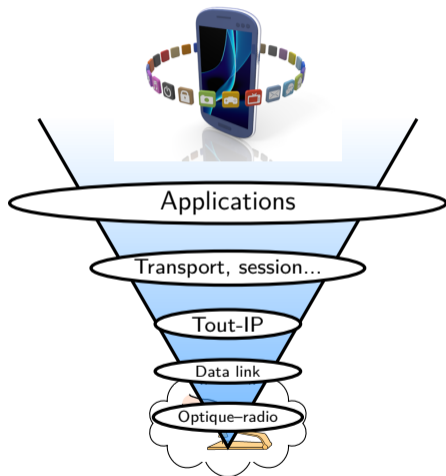
`<cedric.ware@telecom-paris.fr>`

Novembre 2020



Réseaux actuels : paradigme en couches (« layers »)

... et on se fiche des couches basses, non ?



- Énergie : ~ 3 PWh/an (parc nucléaire mondial : 2,5 PWh/an)
 - ▶ Dont 35 % opération réseau et data centers
- Empreinte carbone : 4 % du total (transport aérien : 2 %)
- **Croissance énergétique incontrôlée +9 %/an !**
- **Réseaux optiques cross-layer**
 - ▶ optimiser globalement la consommation
 - ▶ mieux exploiter fonctionnalités optiques

Besoin d'une optimisation globale cross-layer

- **La consommation augmente, notamment sur la commutation**
 - ▶ Trafic = paquets IP, commutés en électronique
 - ▶ Nombreuses conversions opto-électroniques (O-E), linéaire avec le trafic
 - ▶ **Dans le passé, la loi de Moore nous a sauvés → ne marche plus !**
- **Nouvelles contraintes de la 5G**
 - ▶ Mode faible latence : moins de 1 ms end-to-end
 - **Incompatible avec multiplication des conversions !**
 - ▶ Architecture Cloud-RAN : centraliser tout le traitement radio
 - Transmettre toute l'onde en plus des seules données
 - **Encore plus de trafic !**
- **Verrou : réseaux traditionnels en couches**
 - ▶ Optimum couche par couche moins bon que « cross-layer »
 - ▶ Optique cantonnée couche physique, couches hautes = électronique
 - ▶ « Think out of the box » → **libérer le potentiel de l'optique**

Exemple : gagner sur la commutation de paquets

■ Commutation de paquets optique ?

- ▶ Existe en laboratoire mais perd des paquets (contention)
- ▶ Perte de paquets gérée → couche protocole
- ▶ Actuel non adapté ⇒ mauvaises performances

1 → Répartition des rôles entre

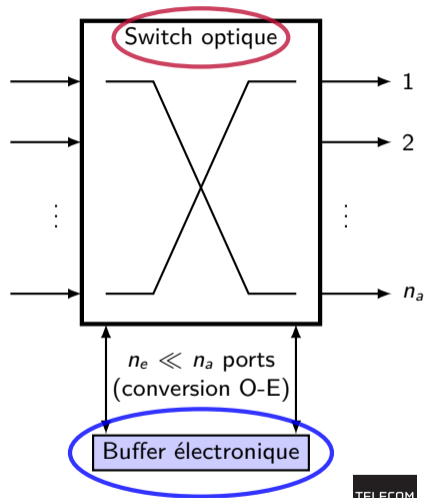
optique & électronique ⇒ **switch hybride**

2 → **Revoir les algorithmes**

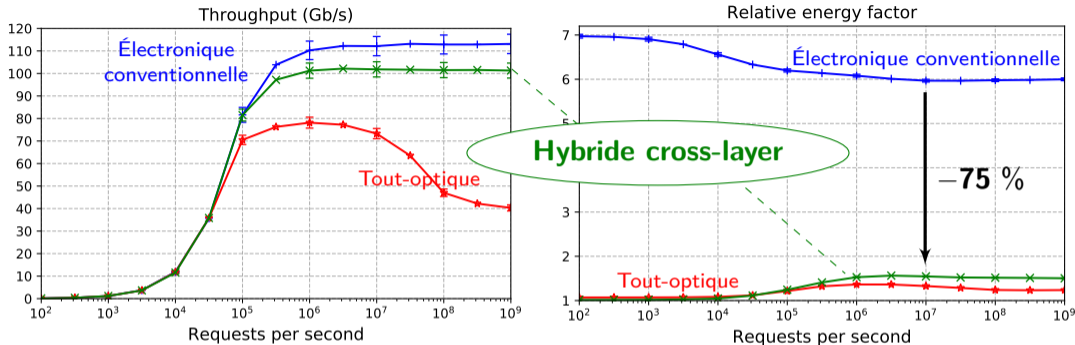
de contrôle de congestion de TCP

■ Cible de l'étude : data centers

- ▶ Forte consommation, 60 % en commutation
- ▶ Courtes distances
- ▶ Réseau spécialisé ⇒ sur-mesure possible



Commutation de paquets hybride cross-layer : résultats



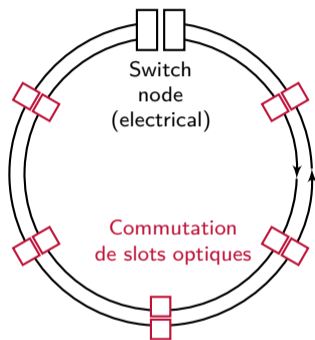
- **75 % d'économie pour seulement 10 % de baisse de capacité**
- -45 % consommation sur les seuls data centers
- -250 TWh/an ($\simeq 2/3$ du parc nucléaire français)

A. Minakhmetov, L. Iannone et C. Ware. *IEEE Photonics Technology Letters* 31.8 (avr. 2019).

A. Minakhmetov, C. Ware et L. Iannone. *Photonic Network Communications* (juin 2020).

Réseaux en anneaux synchrones

ANR N-GREEN, architecture CBOSS (Nokia)



- Double anneau contrapropagatif
- Slots temporels → commutation optique
 - ▶ Réseau synchrone ⇒ évite problèmes de contention à la source
- 1 nœud de commutation électrique
 - ▶ (Utilisé uniquement en cas de défaillance sur l'anneau)

- Commutation optique
 - ▶ Paquets : en combinaison avec TCP
 - ▶ Slots : organisation du réseau en synchrone
- Autres pistes
 - ▶ Optique : conversion λ , intégration communications quantiques...
 - ▶ Network coding, Caches, réseaux de distribution de contenus (CDN)...
- **Point commun : plus d'interactions entre couches réseau**
 - ▶ Si le paradigme en couches nous plombe, changeons-en !
 - ▶ Redécouper le réseau ?
 - ▶ Quel paradigme alternatif ?

Quelles abstractions au-delà du réseau en couches ?

- Abstractions permettent de simplifier par découplage
 - ▶ Couches = découplage physique, information, topologie
 - ▶ NFV (virtualisation) = découplage topologie, sécurité, multiplexage
 - ▶ SDN (réseaux logiciels) = découplage topologie, configuration
- Optimisation « cross-layer » : configuration des fonctions réseau
 - ▶ On est dans le domaine SDN et NFV
 - ▶ Besoin de les adapter pour fonctions logiques vs physiques
 - ▶ Accéder à la couche physique lorsque nécessaire via des « drivers » logiciels, ou des agents SDN ?
- SDN et NFV pas tellement dépendants du modèle en couches
 - ▶ Utiliser cet existant comme abstraction au changement de paradigme sous-jacent ?

Conclusion

Take-home messages

- Consommation énergétique du réseau en croissance incontrôlée
 - ▶ Besoin d'optimisation cross-layer, mieux que couche par couche
 - ▶ Libérer le potentiel de l'optique, mal géré par le réseau en couches

- Solutions et pistes de recherche
 - ▶ Architectures optiques de réseau, commutation, autres fonctions
 - ▶ Pistes hors optique : caches, network coding, usages...

- Lever le verrou : doit-on entièrement redécouper le réseau ?
 - ▶ Si le paradigme actuel nous plombe, changeons-le !
 - ▶ Besoin de nouvelles abstractions pour remplacer l'ancienne
 - ▶ Utiliser les travaux issus des réseaux logiciels SDN ?