

**ETR 2026 ■ SESSION DOCTORANTS**

# **Learning-Assisted Configuration for Deterministic Communications in Time-Sensitive Networks**

**Synthèse de GCLs par apprentissage par renforcement profond**

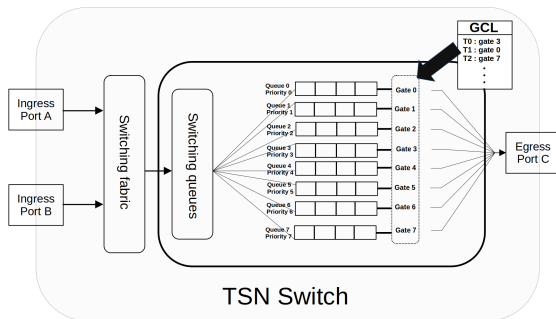
**Mohamed El Amine Chabane**

Siwar Ben Hadj Said - Mireille Sarkiss

CEA List / LSC ■ Télécom SudParis / SAMOVAR

ISAE-ENSMA, Poitiers-Futuroscope - 7 septembre 2026

# IEEE 802.1Qbv et Gate Control Lists (GCL)



IEEE 802.1Qbv : la GCL ouvre et ferme cycliquement les files de sortie.

## Objectif temps réel

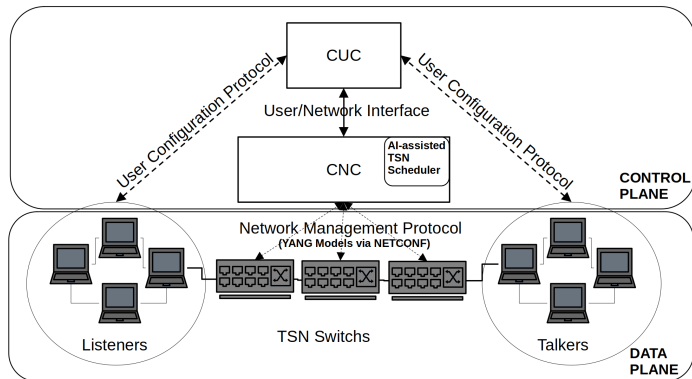
Garantir des **latences bornées**, une **faible gigue** et le respect des **deadlines** malgré la contention.

## Un problème combinatoire

- ▶ Périodes, deadlines, tailles, routes, priorités et contraintes de transmission doivent être satisfaites simultanément.
- ▶ En multi-hop, une décision locale modifie les files et les délais observés aux switches suivants.
- ▶ Les méthodes exactes (SMT/ILP/CP) peuvent fournir de fortes garanties, mais leur temps de calcul augmente rapidement avec la taille du problème.

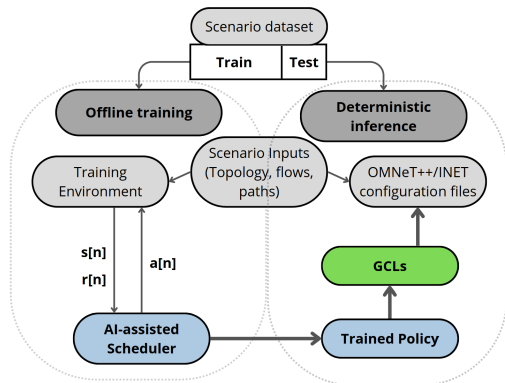
**Besoin :** re-calculer rapidement les GCL lors d'une variation dans le réseau.

# Le scheduler dans IEEE 802.1Qcc



- ▶ Le **CUC** collecte les exigences applicatives.
- ▶ Le **CNC** dispose d'une vue globale de la topologie, des flux et des capacités.
- ▶ Le scheduler appris est envisagé comme un composant du CNC.
- ▶ Les GCL calculées peuvent ensuite être traduites vers les mécanismes de gestion du réseau.

# Formulation RL et chaîne de génération



Hors ligne : apprentissage.

En ligne : inférence déterministe, extraction des GCL, validation.

## État $s[n]$

Occupation des files + âge du paquet en tête (HoL), pour chaque switch et priorité.

## Action $a[n]$

9 décisions locales par switch : idle ou sélection d'une des 8 files de priorité.

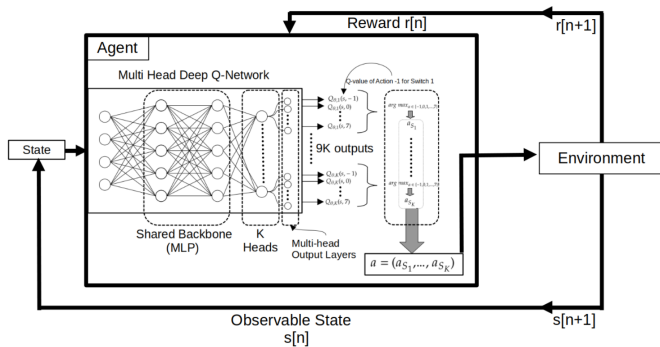
## Récompense $r[n]$

À la livraison TT : favoriser l'arrivée avant deadline et pénaliser les retards.

## Action masking

Retirer avant sélection les actions non autorisées : file vide, transmission en cours, périodicité, guard band.

# MH-DQN : une tête de décision par switch

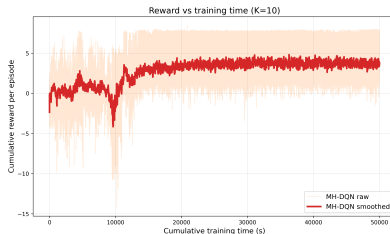
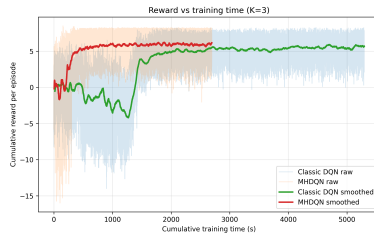


DQN jointe :  $9^K$  actions  
MH-DQN :  $9K$  sorties

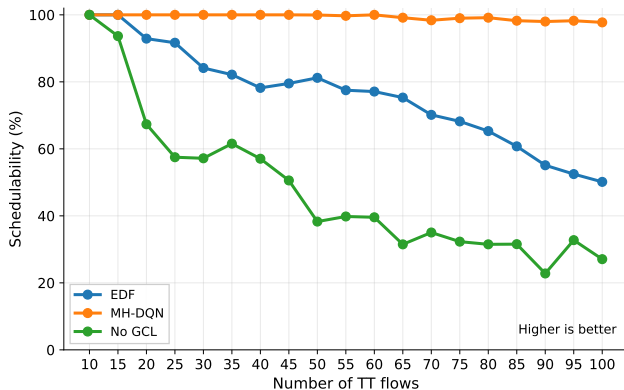
- ▶ un état global du réseau
- ▶ un backbone partagé
- ▶  $K$  têtes, une par switch, avec 9 Q-valeurs chacune
- ▶ les décisions locales sont appliquées conjointement
- ▶ une récompense E2E commune maintient la coordination centralisée.

$K = 4 : 6561 \rightarrow 36$  sorties

# Résultats : Convergence et passage à l'échelle



# Résultats : Benchmark



## Scénario OMNeT++/INET

- ▶  $K = 4$  switches ; 10 à 100 flux TT
- ▶ périodes : 125, 250, 500  $\mu$ s, 1 ms, 3 ms
- ▶ tailles : 64 à 1024 octets
- ▶ BE Poisson :  $\lambda = 3000$  paquets/s.

À 100 flux TT :

**MH-DQN : 97%**

EDF : 50% | Sans GCL : 22%

Schedulabilité TT : part des paquets reçus avant leur deadline de bout en bout.

# Conclusion

---

## 1. Contraintes intégrées

Le masking exclut les décisions non déployables avant la sélection de l'action.

## 2. Multi-switch scalable

Le MH-DQN réduit la sortie de  $9^K$  à 9K avec état global et récompense commune.

## 3. Validation indépendante

Les décisions deviennent des GCL IEEE 802.1Qbv testées sous OM-NeT++/INET.

**97% à 100 flux TT**

**contre 50% pour EDF et 22% sans GCL dans le scénario évalué.**

Perspectives : topologies plus larges (GNN), benchmark étendu et test bed reel.

**Merci - Questions ?**

mohamed-elamine.chabane@cea.fr