

# Répartition de flux dans les réseaux de contenu, application à un contexte satellite

Adrien THIBAUD

Encadrement:

Emmanuel CHAPUT, Julien FASSON, Fabrice ARNAL, Renaud SALLANTIN

2 Septembre 2021

En collaboration avec Emmanuel DUBOIS.



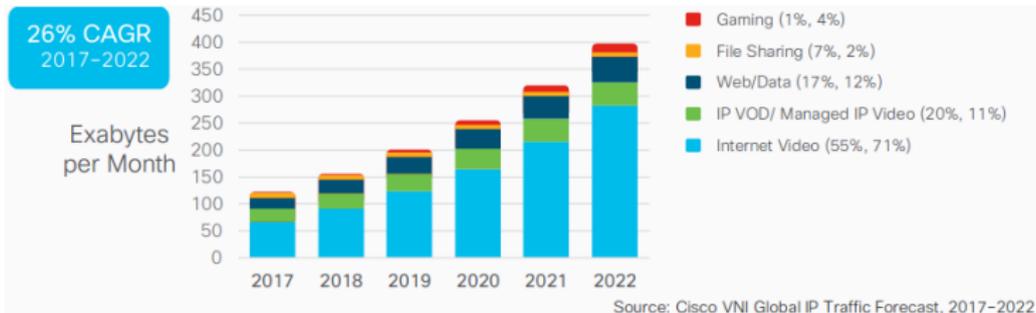
# Table des Matières

- 1 Contexte
- 2 Formulation du problème
- 3 Cooperative Congestion Control
- 4 Application à un contexte satellite
- 5 Conclusions



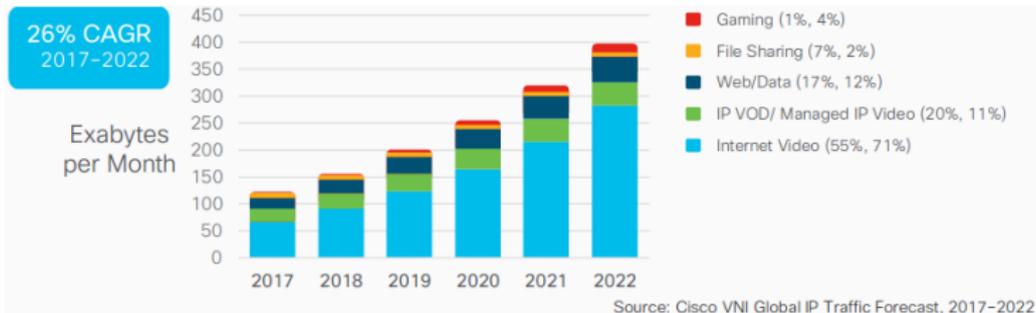
# Changement d'utilisation d'Internet

- Émergence du streaming vidéo



# Changement d'utilisation d'Internet

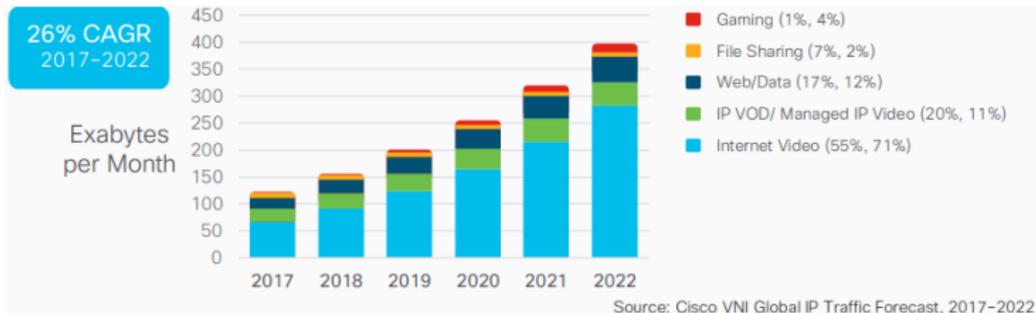
- Émergence du streaming vidéo



- Solutions en overlay d'IP (CDN, P2P, ...)

# Changement d'utilisation d'Internet

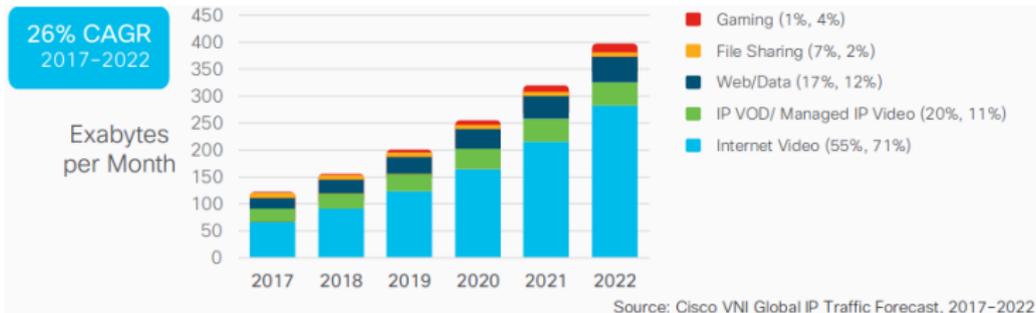
- Émergence du streaming vidéo



- Solutions en overlay d'IP (CDN, P2P, ...)
- Si nous devons recréer Internet aujourd'hui, comment faire ?

# Changement d'utilisation d'Internet

- Émergence du streaming vidéo



- Solutions en overlay d'IP (CDN, P2P, ...)
- Si nous devons recréer Internet aujourd'hui, comment faire ?

⇒ Nouveau paradigme : Information-Centric Networking (ICN)

## Information-Centric Networking

- Plusieurs architectures ICN proposées

## Information-Centric Networking

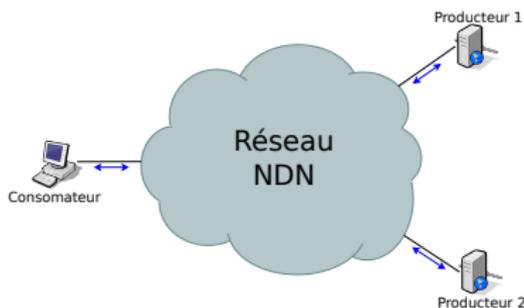
- Plusieurs architectures ICN proposées

⇒ Named Data Networking (NDN)

# Information-Centric Networking

- Plusieurs architectures ICN proposées

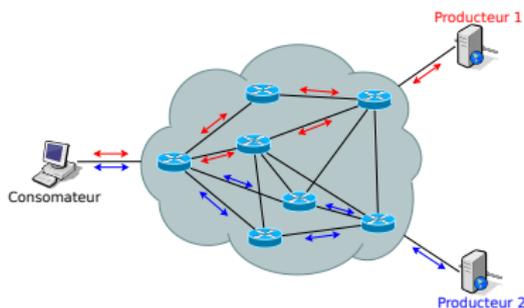
⇒ Named Data Networking (NDN)



# Information-Centric Networking

- Plusieurs architectures ICN proposées

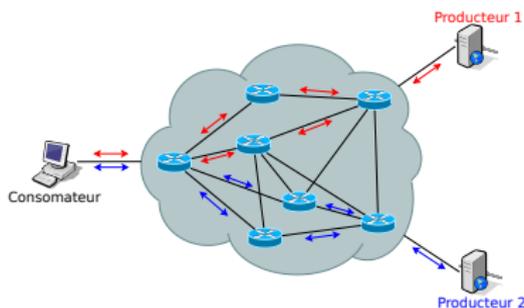
⇒ Named Data Networking (NDN)



# Information-Centric Networking

- Plusieurs architectures ICN proposées

⇒ Named Data Networking (NDN)



- Routage
- Relayage
- Sécurité
- Mise en cache
- Multi-homing et Multicast
- ...

## Problématique de Thèse

- Améliorer la Qualité d'Expérience des utilisateurs avec NDN

## Problématique de Thèse

- Améliorer la Qualité d'Expérience des utilisateurs avec NDN
  - Streaming Vidéo :
    - Qualité de la vidéo
    - Vidéo fluide

## Problématique de Thèse

- Améliorer la Qualité d'Expérience des utilisateurs avec NDN
  - Streaming Vidéo :
    - Qualité de la vidéo
    - Vidéo fluide
  
- Cas application : réseaux satellite
  - Historiquement, la vidéo est un marché important
  - Satellite géostationnaire

## Problématique de Thèse

- Améliorer la Qualité d'Expérience des utilisateurs avec NDN
  - Streaming Vidéo :
    - Qualité de la vidéo
    - Vidéo fluide
  
- Cas application : réseaux satellite
  - Historiquement, la vidéo est un marché important
  - Satellite géostationnaire
  - DASH, CC

## Problématique de Thèse

- Améliorer la Qualité d'Expérience des utilisateurs avec NDN
  - Streaming Vidéo :
    - Qualité de la vidéo
    - Vidéo fluide
  
- Cas application : réseaux satellite
  - Historiquement, la vidéo est un marché important
  - Satellite géostationnaire
  - DASH, CC
  - CDN

# Formulation du problème

# Formulation du problème

## Maximiser le débit des utilisateurs

- Utiliser les ressources du réseau au mieux
- Mettre en place de l'équité entre les utilisateurs

## Formulation du problème

Maximiser le débit des utilisateurs

- Utiliser les ressources du réseau au mieux
- Mettre en place de l'équité entre les utilisateurs

→ Dans le monde IP

- Entre les extrémités (TCP)
- Sur les routeurs (AQM)

## Formulation du problème

Maximiser le débit des utilisateurs

- Utiliser les ressources du réseau au mieux
- Mettre en place de l'équité entre les utilisateurs

→ Dans le monde IP

- Entre les extrémités (TCP)
- Sur les routeurs (AQM)

⇒ Répartition "efficace" des flux dans le réseau

# État de l'art

- Bout en bout
- Saut par saut
- Hybride

# État de l'art

## Interest Control Protocol (ICP)<sup>1</sup>

- Bout en bout
    - TCP-like
  - Saut par saut
  - Hybride
- "Receiver-driven"
    - Interest → données
    - Data → acquittements
  - SACK
  - Communication fiable
  - Équité TCP

---

1. G. Carofiglio, M. Gallo et L. Muscariello. "ICP : Design and evaluation of an Interest control protocol for content-centric networking". In : *2012 Proceedings IEEE INFOCOM Workshops*. 2012, p. 304-309.

# État de l'art

## Dynamic Request Forwarding (DRF)<sup>1</sup>

- Bout en bout
  - Saut par saut
    - Forwarding Strategy
    - AQM-like
- Hybride
- But : Équilibrage de charge

---

1. G. Carofiglio, M. Gallo, L. Muscariello, M. Papalini et Sen Wang. "Optimal multipath congestion control and request forwarding in Information-Centric Networks". In : *2013 21st IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*. 2013, p. 1-10.

# État de l'art

## Practical Congestion cONtrol scheme (PCON)<sup>1</sup>

- Bout en bout
  - Saut par saut
  - Hybride
- Détection de congestion grâce aux AQM (CoDel)
  - Data marquée pour indiquer la congestion
  - Ajustement du débit de l'utilisateur
  - Ajustement du relayage multi-chemin

---

1. K. Schneider, C. Yi, B. Zhang et L. Zhang. "A Practical Congestion Control Scheme for Named Data Networking". In : *Proceedings of the 3rd ACM Conference on Information-Centric Networking*. ACM-ICN '16. Kyoto, Japan : ACM, 2016, p. 21-30. ↻ 🔍 🔄

## Définition de flux

### Flux

Dans NDN, un **flux** est une suite de messages (Interests et Data) transmis entre un consommateur et un ou plusieurs producteurs et concernant un contenu unique.

## Définition de flux

### Flux

Dans NDN, un **flux** est une suite de messages (Interests et Data) transmis entre un consommateur et un ou plusieurs producteurs et concernant un contenu unique.

1 Flux = 1 Consommateur + 1 Contenu

## Définition de flux

### Flux

Dans NDN, un **flux** est une suite de messages (Interests et Data) transmis entre un consommateur et un ou plusieurs producteurs et concernant un contenu unique.

$$1 \text{ Flux} = 1 \text{ Consommateur} + 1 \text{ Contenu}$$

### Chemin

Dans NDN, un **chemin** représente un ensemble de nœuds qui sont reliés un à un et dont les deux extrémités sont un consommateur et un producteur.

### Sous-Flux

Dans NDN, un **sous-flux** représente une partie d'un flux qui ne prend qu'un unique chemin.

## Définition de flux - Identification

Name
Selectors
Content Name Size
Consumer Differentiator
Nonce
Guiders

(a) Message Interest

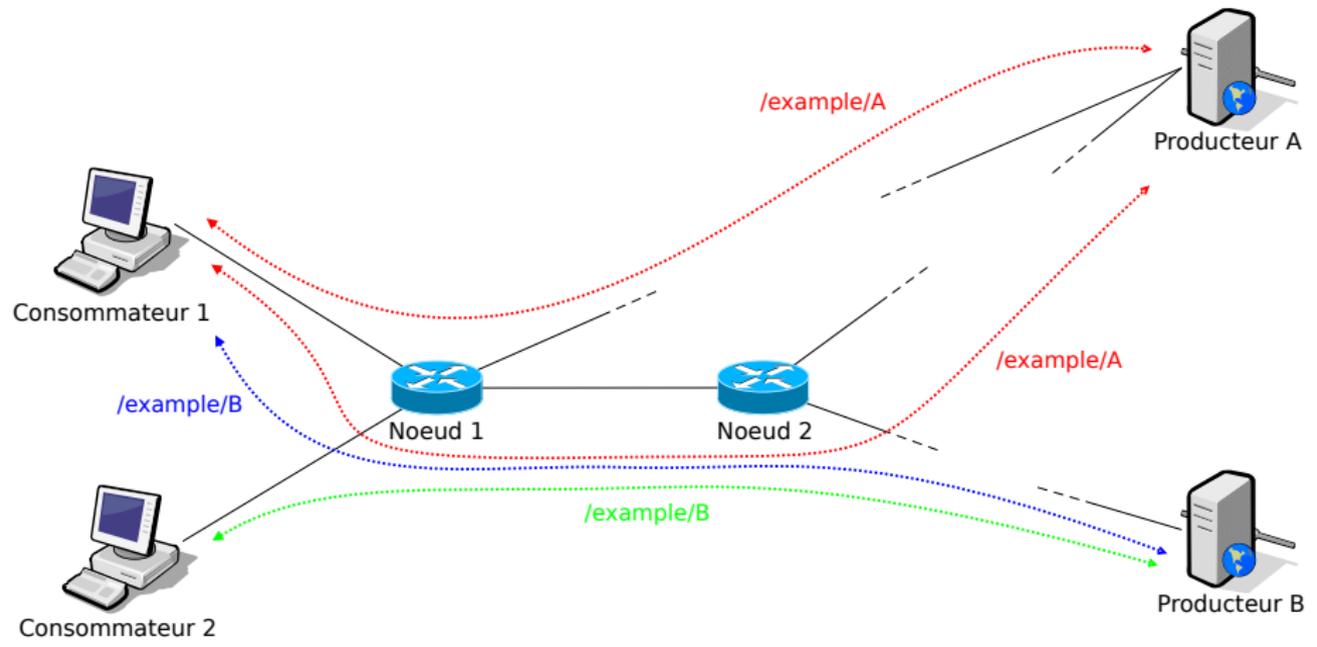
Name
MetalInfo
Content Name Size
Consumer Differentiator
Content
Signature

(b) Message Data

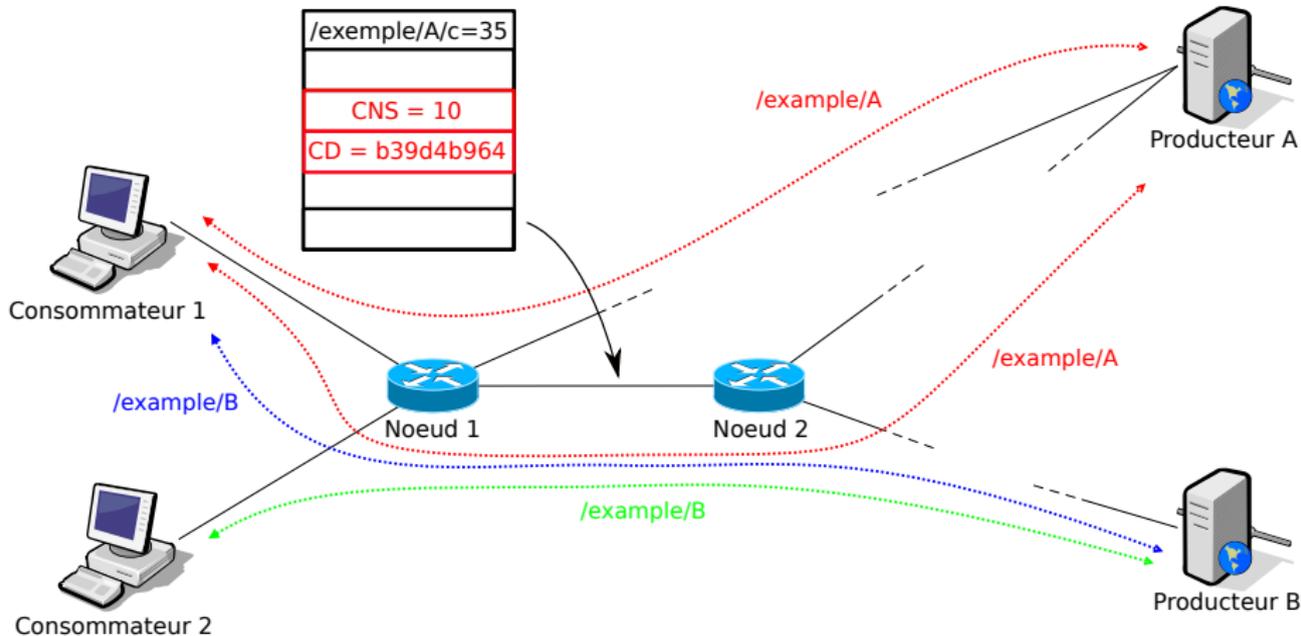
Figure – Nouveau format des messages

- "Name" + "Content Name Size" → Contenu
- "Consumer Differentiator" → Consommateur

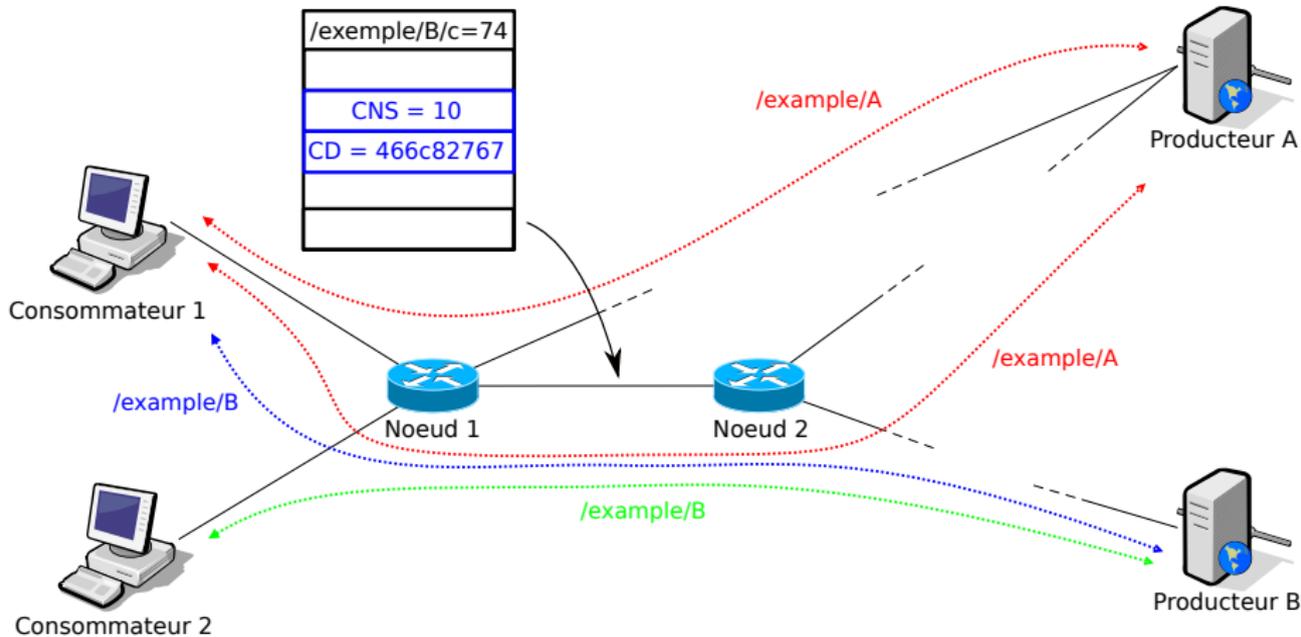
# Définition de flux - Exemple



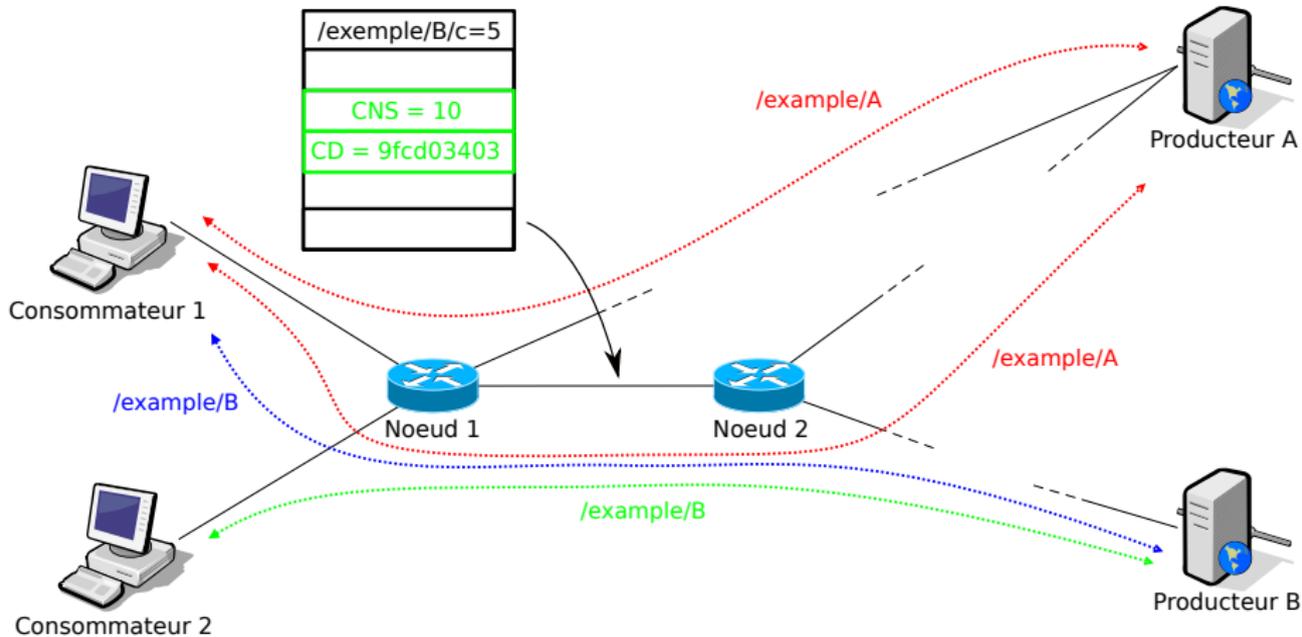
# Définition de flux - Exemple



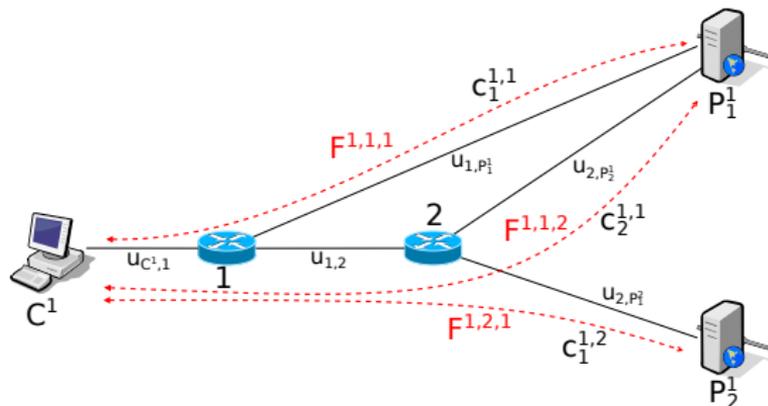
# Définition de flux - Exemple



# Définition de flux - Exemple



## Formalisation - Notations



- $V$  Ensemble des nœuds du réseau  
 $E$  Ensemble des liens du réseau  
 $u_{i,j}$  Capacité du lien entre les nœuds  $i$  et  $j$   
 $K$  Nombre de flux  
 $F^k$  Débit du flux  $k$   
 $C^k$  Consommateur du flux  $k$   
 $L^k$  Nombre de producteurs du flux  $k$   
 $P_l^k$  Producteur  $l$  du flux  $k$

- $F^{k,l}$  Débit du flux  $k$  fourni par le producteur  $P_l^k$   
 $M^{k,l}$  Nombre de multi-chemin pour le flux  $k$  fourni par le producteur  $P_l^k$   
 $C_m^{k,l}$  Chemin  $m$  amenant au producteur  $l$  du flux  $k$   
 $M^k$  Nombre total de chemins pour le flux  $k$   
 $F^{k,l,m}$  Débit du sous-flux sur le chemin  $m$  amenant au producteur  $l$  du flux  $k$   
 $f_{i,j}^k$  Débit du flux  $k$  entre les nœuds  $i$  et  $j$

# Formalisation

$K$  problèmes d'optimisation successifs

## Formalisation

 $K$  problèmes d'optimisation successifs

Objectif :

$$\max \min_t \quad (1)$$

Contraintes :

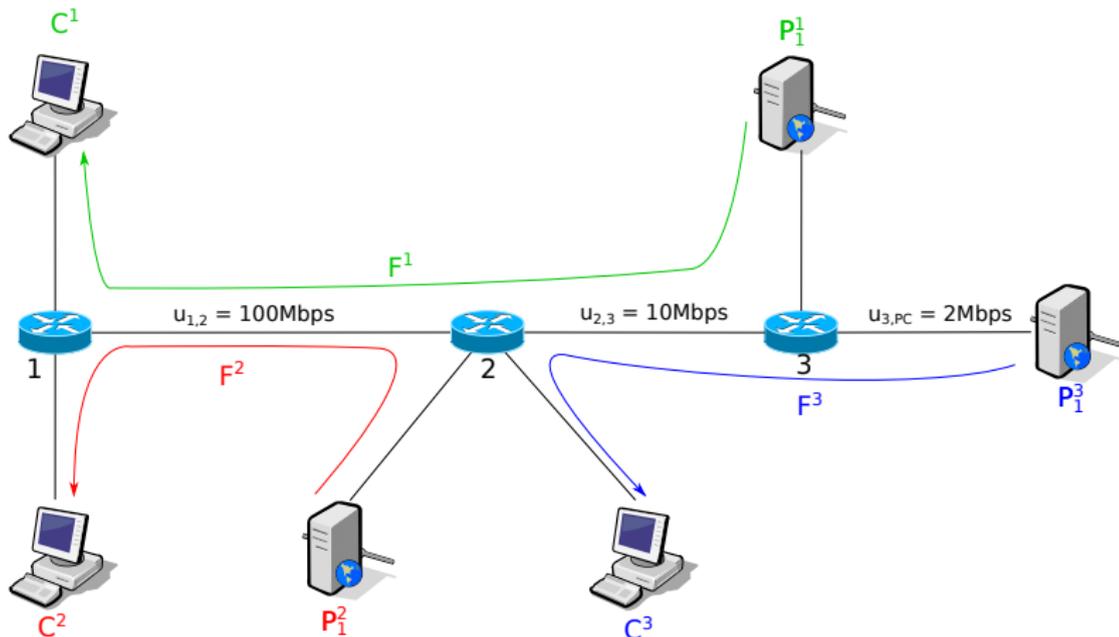
$$\sum_{j \in V} f_{i,j}^k - \sum_{j \in V} f_{j,i}^k = \begin{cases} F^k & i = C^k \\ 0 & i \neq C^k, P_i^k, \forall k = 1, \dots, K, \forall i = 1, \dots, L_k \\ -F^{k,l} & i = P_i^k \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_k f_{i,j}^k \leq u_{i,j}, \forall (i,j) \in E \quad (3)$$

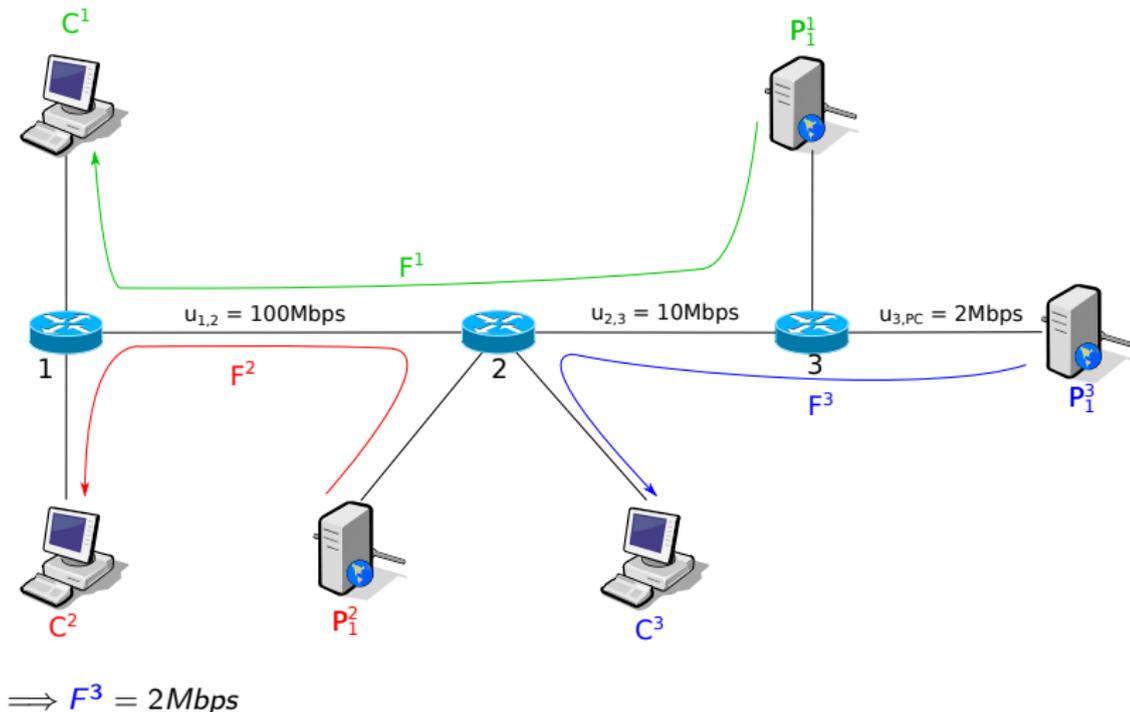
$$F^k - \min_t \geq 0, \forall k \in 1, K \setminus K_{t-1} \quad (4)$$

$$F^k = \min_{g^{(k)}}^*, \forall k \in K_{t-1} \quad (5)$$

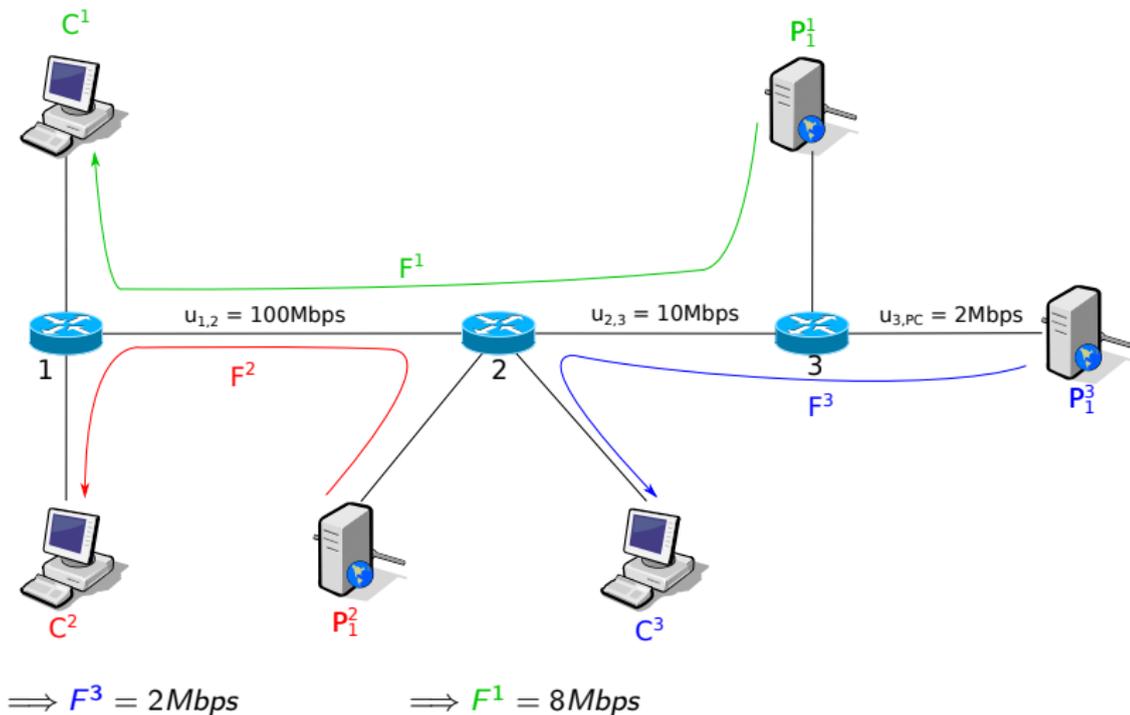
## Formalisation - Exemple



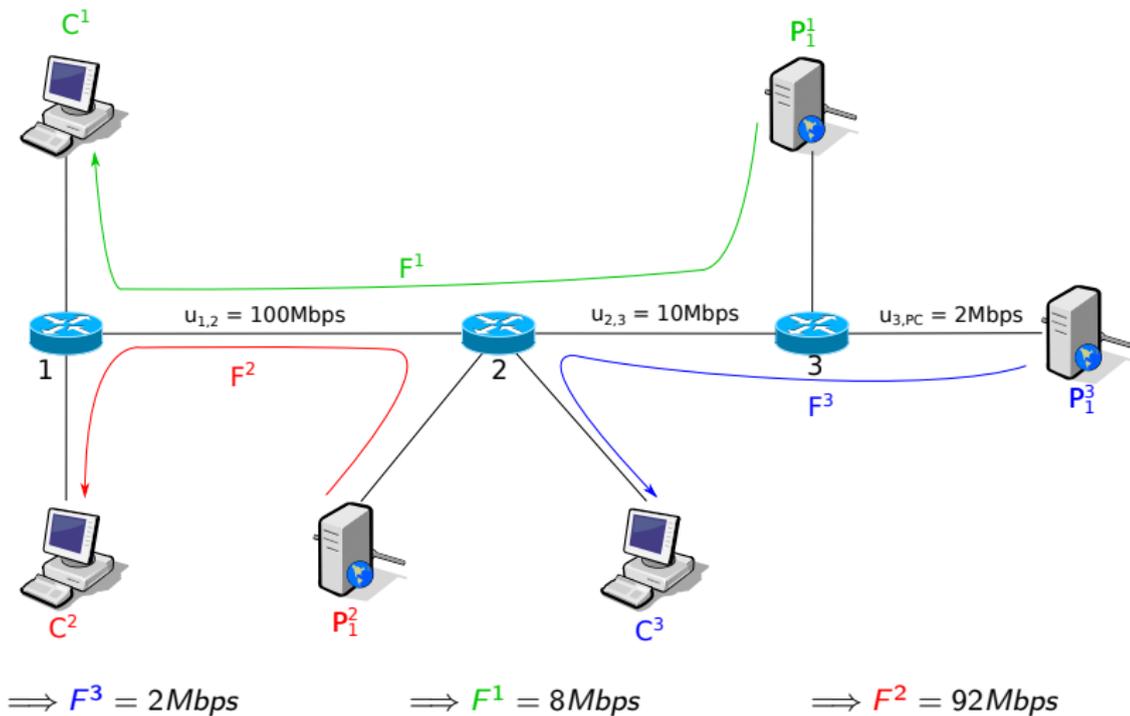
## Formalisation - Exemple



## Formalisation - Exemple



## Formalisation - Exemple



# Cooperative Congestion Control

# Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN

# Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN
- Solution générique

# Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN
- Solution générique

⇒ Répartir les flux dans NDN suivant une stratégie d'allocation

# Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN
- Solution générique

⇒ Répartir les flux dans NDN suivant une stratégie d'allocation

Trois Principes :

1. Coopération
2. Répartition
3. Supervision

## Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN
- Solution générique

⇒ Répartir les flux dans NDN suivant une stratégie d'allocation

Trois Principes :

1. Coopération
2. Répartition
3. Supervision

Rôle :

- Permettre les échanges d'informations entre nœuds

# Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN
- Solution générique

⇒ Répartir les flux dans NDN suivant une stratégie d'allocation

Trois Principes :

1. *Coopération*
2. Répartition
3. *Supervision*

Rôle :

- Répartir les informations d'un flux sur les multiples interfaces possibles
- Répartir les capacités des liens parmi les différents flux

## Cooperative Congestion Control : Introduction

But :

- Répartir efficacement les flux dans NDN
- Solution générique

⇒ Répartir les flux dans NDN suivant une stratégie d'allocation

Trois Principes :

1. Coopération
2. Répartition
3. Supervision

Rôle :

- S'assurer que la répartition est correcte

## Cooperative Congestion Control : Coopération

Rôle : Permettre les échanges d'informations entre nœuds

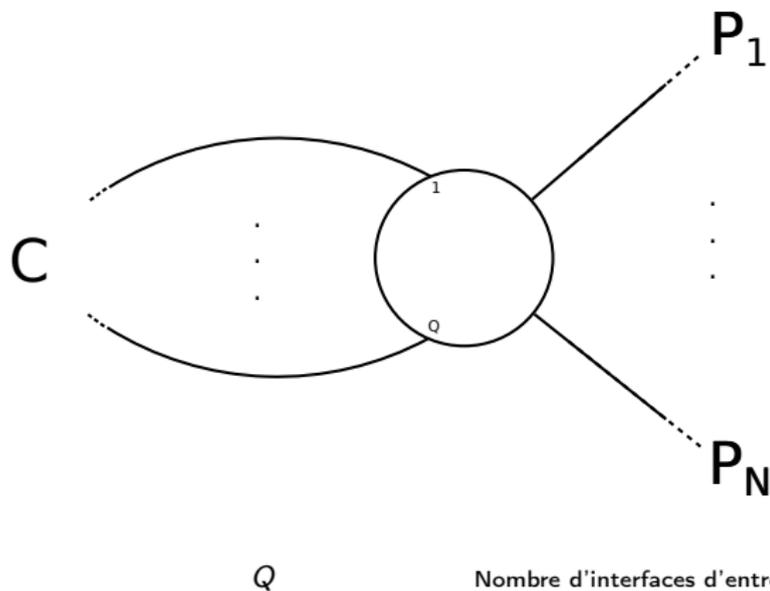
→ Métrique : Rythme des Interests ("Pace")

↔ grâce au "Flow balance"

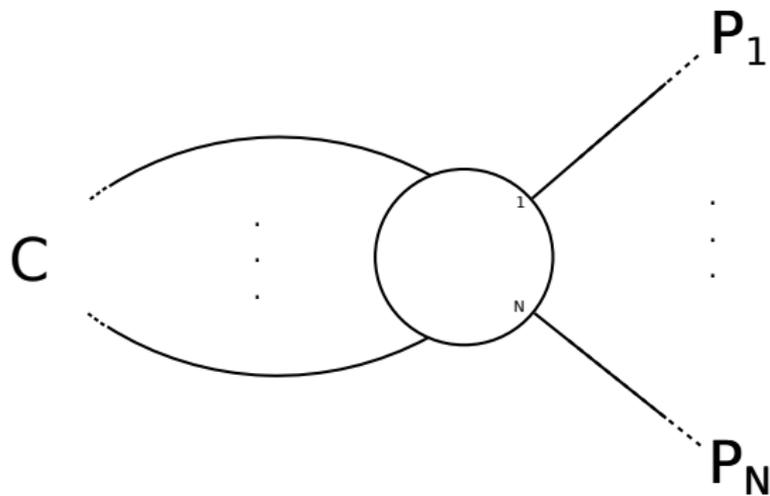
→ Signalisation entre nœuds

- Objectifs
- Contraintes

# Cooperative Congestion Control : Coopération

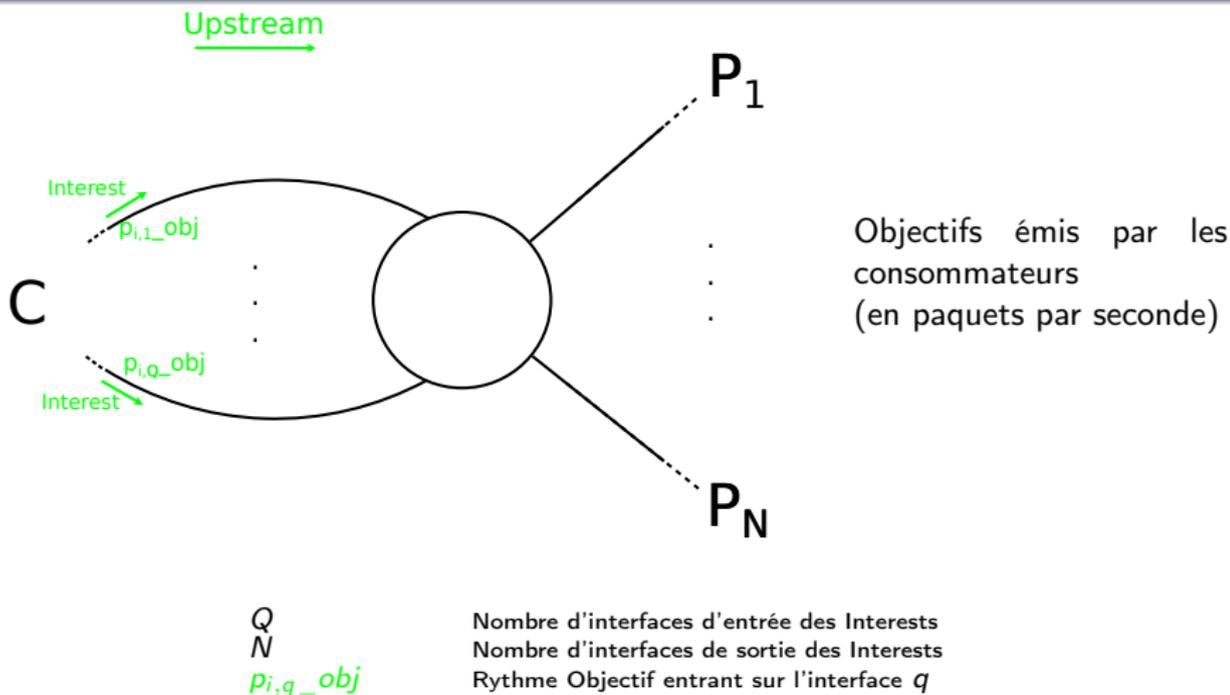


# Cooperative Congestion Control : Coopération

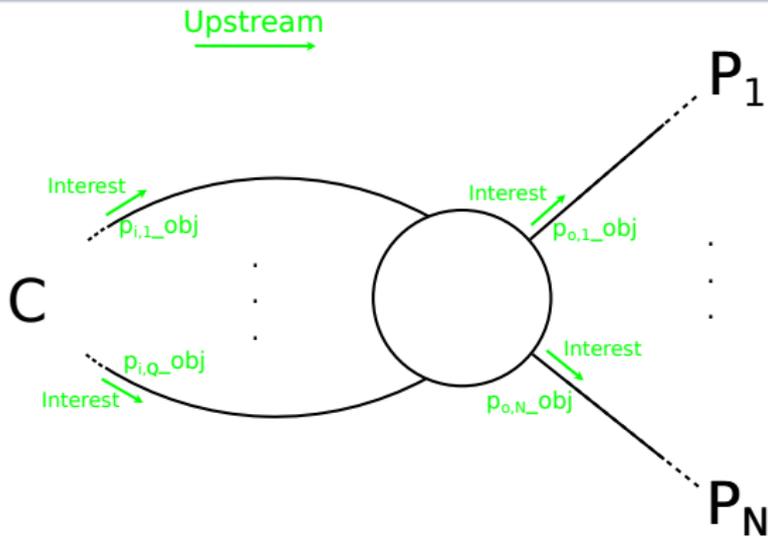

 $Q$ 

Nombre d'interfaces d'entrée des Interests  
 Nombre d'interfaces de sortie des Interests

# Cooperative Congestion Control : Coopération



# Cooperative Congestion Control : Coopération



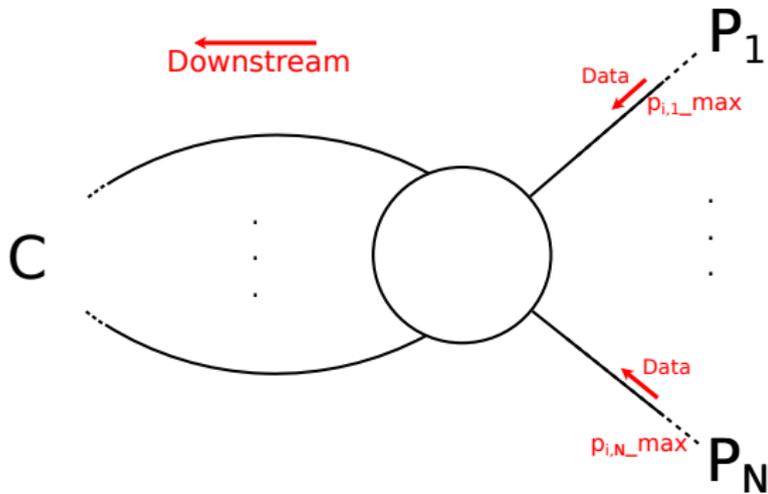
Le nœud émis à son tour des objectifs

$Q$   
 $N$

$p_{i,q\_obj}$   
 $p_{o,n\_obj}$

Nombre d'interfaces d'entrée des Interests  
 Nombre d'interfaces de sortie des Interests  
 Rythme Objectif entrant sur l'interface  $q$   
 Rythme Objectif sortant sur l'interface  $n$

# Cooperative Congestion Control : Coopération



Contraintes émis par les producteurs  
(en paquets par seconde)

$Q$

$N$

$p_{i,q\_obj}$

$p_{o,n\_obj}$

$p_{o,q\_max}$

Nombre d'interfaces d'entrée des Interests

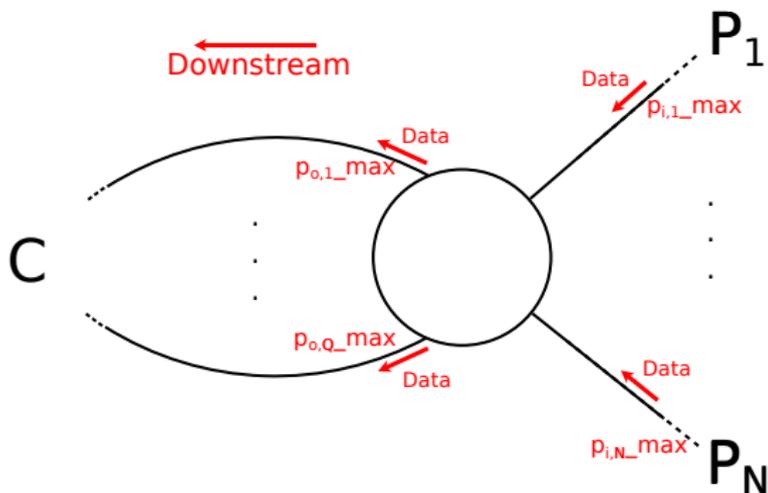
Nombre d'interfaces de sortie des Interests

Rythme Objectif entrant sur l'interface  $q$

Rythme Objectif sortant sur l'interface  $n$

Rythme Contraint sortant sur l'interface  $q$

# Cooperative Congestion Control : Coopération



Le nœud émis à son tour des contraintes

$Q$   
 $N$

$p_{i,q\_obj}$

$p_{o,n\_obj}$

$p_{o,q\_max}$

$p_{i,n\_max}$

Nombre d'interfaces d'entrée des Interests  
 Nombre d'interfaces de sortie des Interests  
 Rythme Objectif entrant sur l'interface  $q$   
 Rythme Objectif sortant sur l'interface  $n$   
 Rythme Contraint sortant sur l'interface  $q$   
 Rythme Contraint entrant sur l'interface  $n$



# Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

## Loi de Non Création d'Objectifs

$$\sum_{n=1}^N p_{o,n\_obj} \leq \sum_{q=1}^Q p_{i,q\_obj} \quad (6)$$

## Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

### Loi de Non Création d'Objectifs

$$\sum_{n=1}^N p_{o,n\_obj} \leq \sum_{q=1}^Q p_{i,q\_obj} \quad (6)$$

### Flux Upstream limité

Un flux est Upstream limité quand  $\sum_{n=1}^N p_{o,n\_obj} = \sum_{q=1}^Q p_{i,q\_obj}$

# Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

## Loi de Non Suppression de Contraintes

$$\sum_{q=1}^Q p_{o,q\_max} \leq \sum_{n=1}^N p_{i,n\_max} \quad (7)$$

## Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

### Loi de Non Suppression de Contraintes

$$\sum_{q=1}^Q p_{o,q\_max} \leq \sum_{n=1}^N p_{i,n\_max} \quad (7)$$

### Flux Downstream limité

Un flux est Downstream limité quand  $\sum_{q=1}^Q p_{o,q\_max} = \sum_{n=1}^N p_{i,n\_max}$

## Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

### Flux satisfait

Un flux est satisfait sur l'interface  $q$  quand  $p_{o,q\_max} \geq p_{i,q\_obj}$

## Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

### Flux satisfait

Un flux est satisfait sur l'interface  $q$  quand  $p_{o,q\_max} \geq p_{i,q\_obj}$

### Flux sur-satisfait

Un flux est sur-satisfait sur l'interface  $q$  quand  $p_{o,q\_max} > p_{i,q\_obj}$

## Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

### Flux satisfait

Un flux est satisfait sur l'interface  $q$  quand  $p_{o,q\_max} \geq p_{i,q\_obj}$

### Flux sur-satisfait

Un flux est sur-satisfait sur l'interface  $q$  quand  $p_{o,q\_max} > p_{i,q\_obj}$

### Distribution satisfaisante

Une distribution est satisfaisante si et seulement si : si un flux est sur-satisfait, alors tous les autres flux sont au moins satisfaits.

## Cooperative Congestion Control : Nouvelles notions

### Distribution Downstream équitable

Une distribution est Downstream équitable si et seulement si :

$\forall F_1, F_2$  si  $p_{o,q\_max}^{F_1} \leq p_{o,q\_max}^{F_2}$  alors  $F_1$  est satisfait ou  $F_1$  est Downstream limité

### Distribution Upstream équitable

Une distribution est Upstream équitable si et seulement si :

$\forall F_1, F_2$  si  $p_{o,n\_obj}^{F_1} \leq p_{o,n\_obj}^{F_2}$  alors  $F_1$  est Upstream limité

## Cooperative Congestion Control : Structure globale

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

- Structure symétrique (Upstream / Downstream)

## Cooperative Congestion Control : Structure globale

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

- Structure symétrique (Upstream / Downstream)
- 2 types d'algorithmes
  - 1 flux et plusieurs interfaces
  - plusieurs flux et 1 interface

## CCC - Gestion d'une interface (Downstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

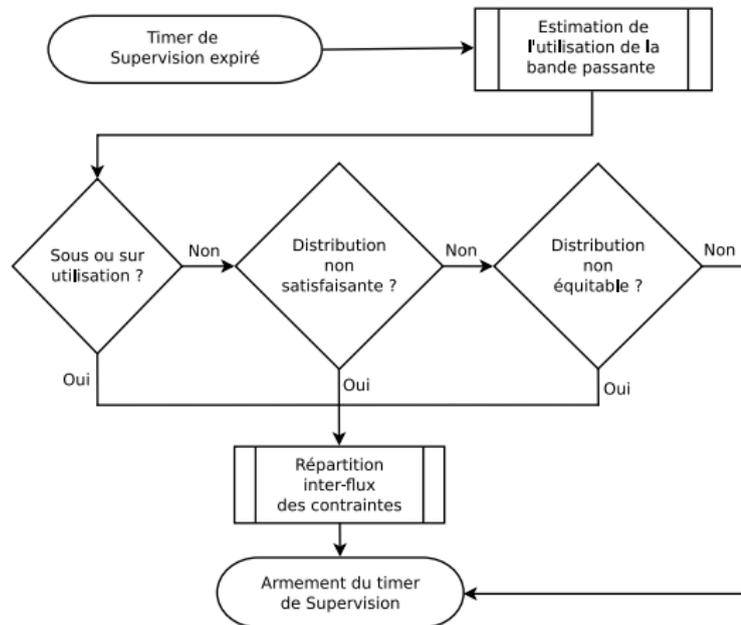


Figure – Supervision du Downstream

## CCC - Gestion d'une interface (Downstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique		Supervision et Répartition inter-flux

### Répartition inter-flux des Contraintes

Rôle : Définir une répartition théorique permettant de :

1. satisfaire les demandes
2. distribuer totalement la capacité
3. mettre en place une stratégie d'allocation

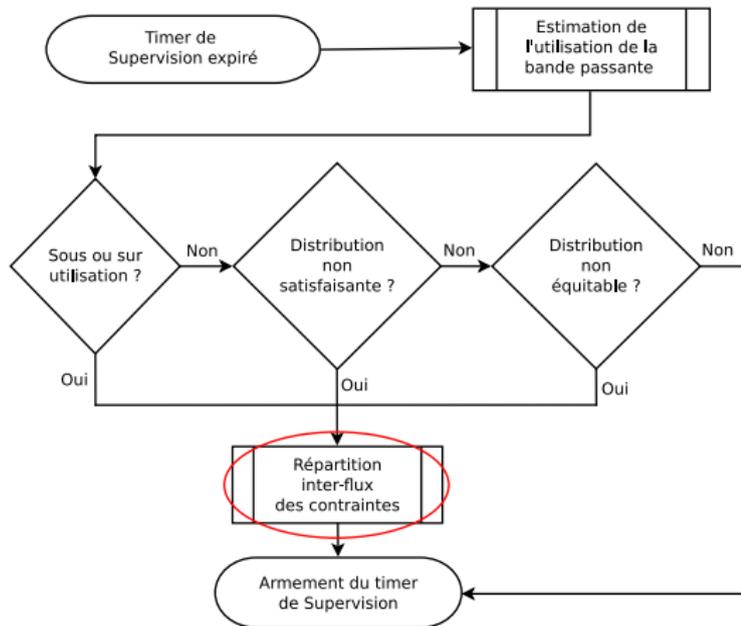


Figure – Supervision du Downstream

# CCC - Gestion d'une interface (Upstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

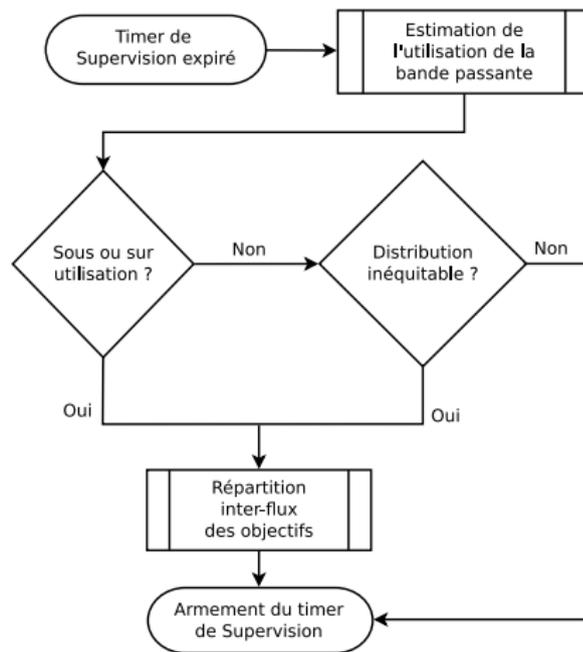


Figure – Supervision de l'Upstream

## CCC - Gestion d'une interface (Upstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

### Répartition inter-flux des Objectifs

Rôle : Définir une répartition théorique permettant de :

1. distribuer totalement la capacité
2. mettre en place une stratégie d'allocation

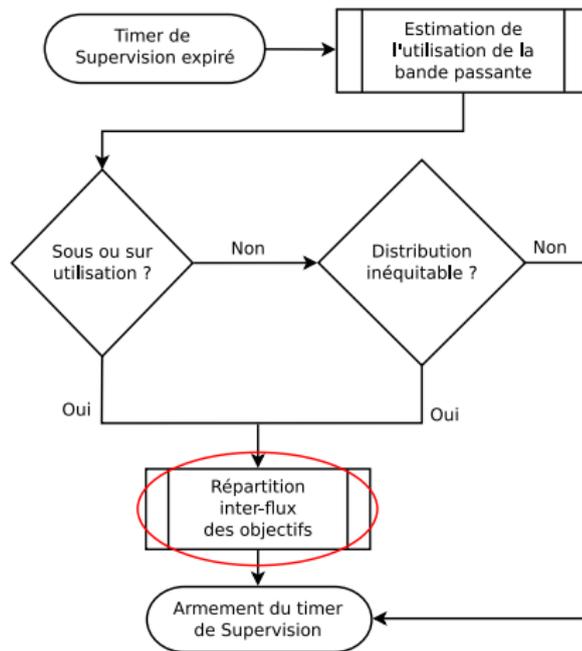


Figure – Supervision de l'Upstream

## CCC - Gestion d'un flux (Downstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition	inter-chemin
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

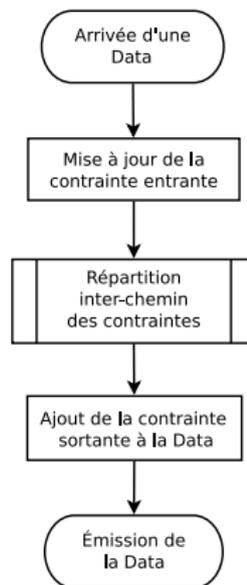


Figure – Arrivée d'une Data

## CCC - Gestion d'un flux (Downstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition	inter-chemin
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

### Répartition inter-chemin des Contraintes

Rôle : Répartir les informations entrantes en respectant :

1. les infos précédentes
2. et les lois de conservations

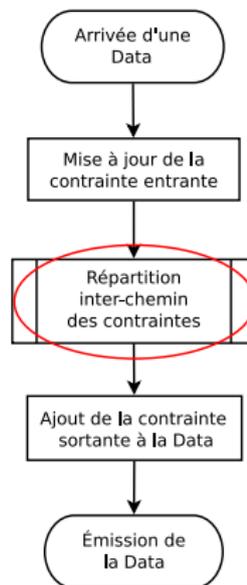


Figure – Arrivée d'une Data

# CCC - Gestion d'un flux (Upstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

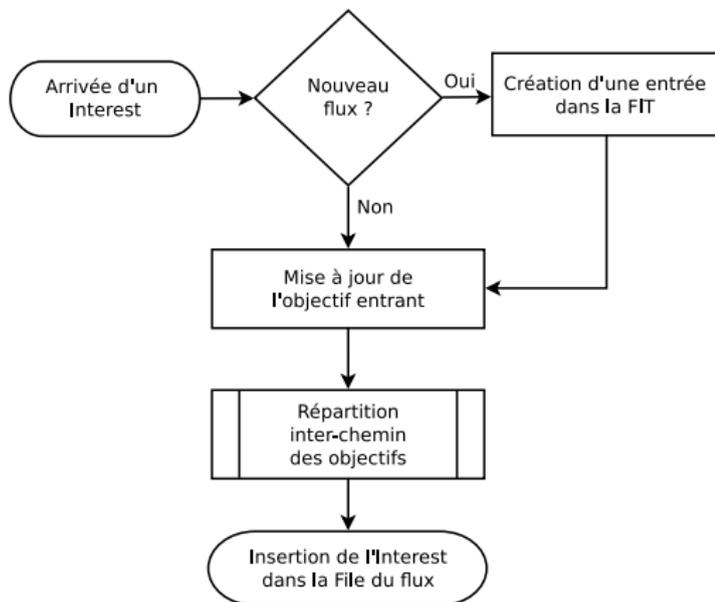


Figure – Arrivée d'un Interest

## CCC - Gestion d'un flux (Upstream)

	Upstream	Downstream
Arrivée d'un paquet	Répartition inter-chemin	
Périodique	Supervision et Répartition inter-flux	

### Répartition inter-chemin des Objectifs

Rôle : Répartir les informations entrantes en respectant :

1. les infos précédentes
2. et les lois de conservations

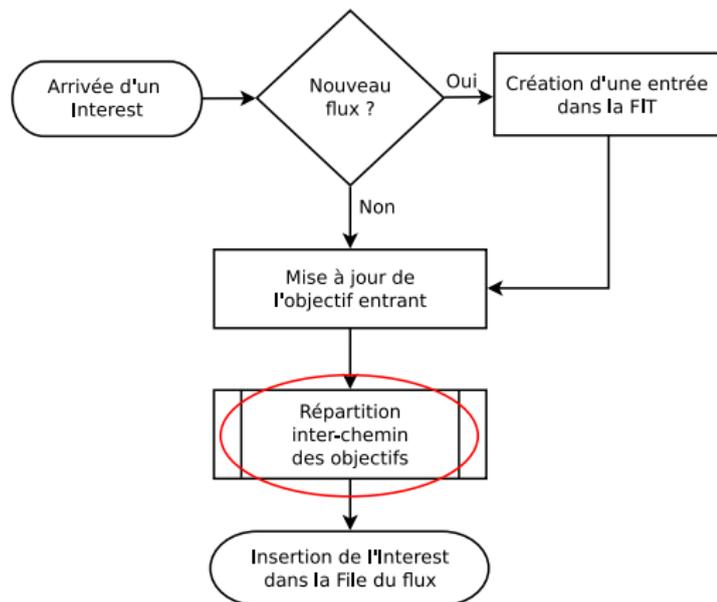
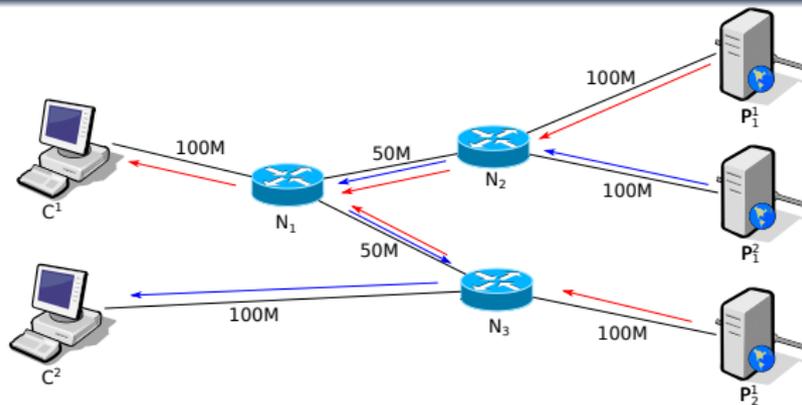
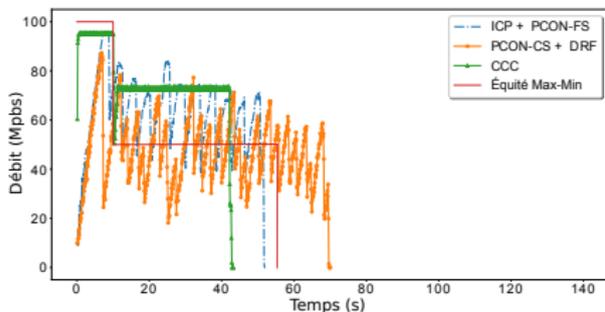
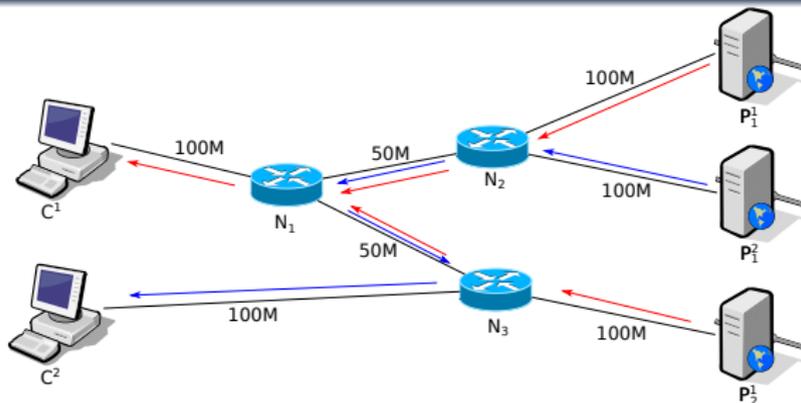
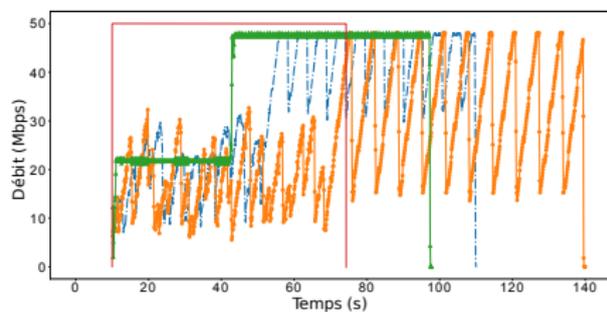


Figure – Arrivée d'un Interest

# Cooperative Congestion Control : Évaluations

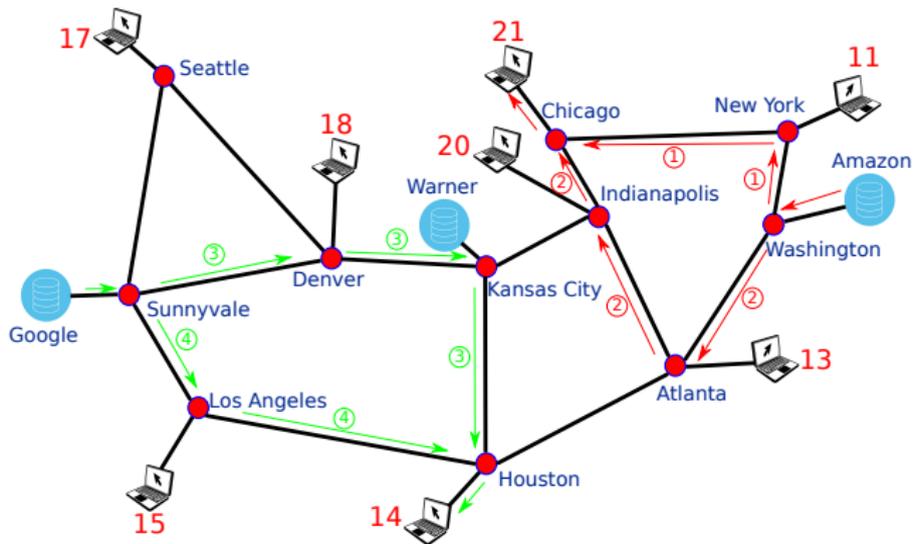


## Cooperative Congestion Control : Évaluations

Débit Flux rouge ( $C^1$ )Débit Flux bleu ( $C^2$ )

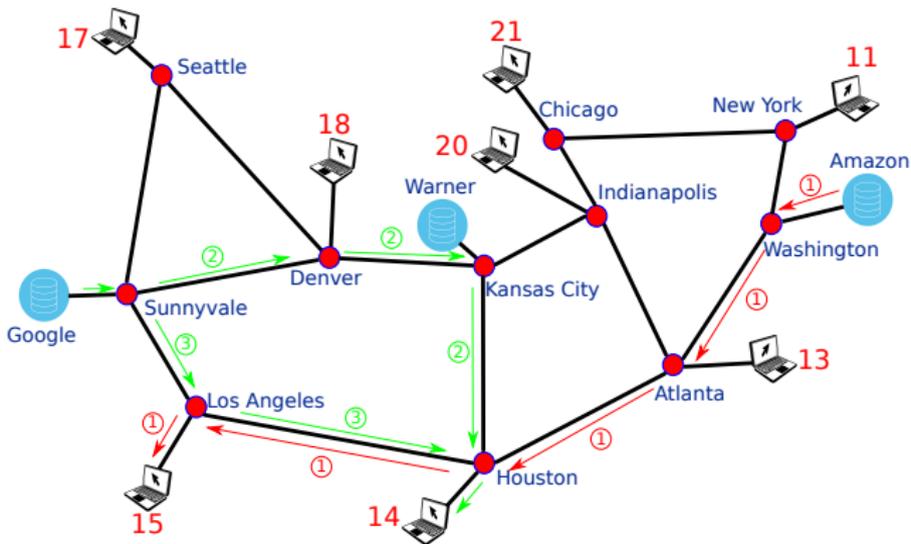


# Cooperative Congestion Control : Évaluations



- Les flux ne se croisent pas

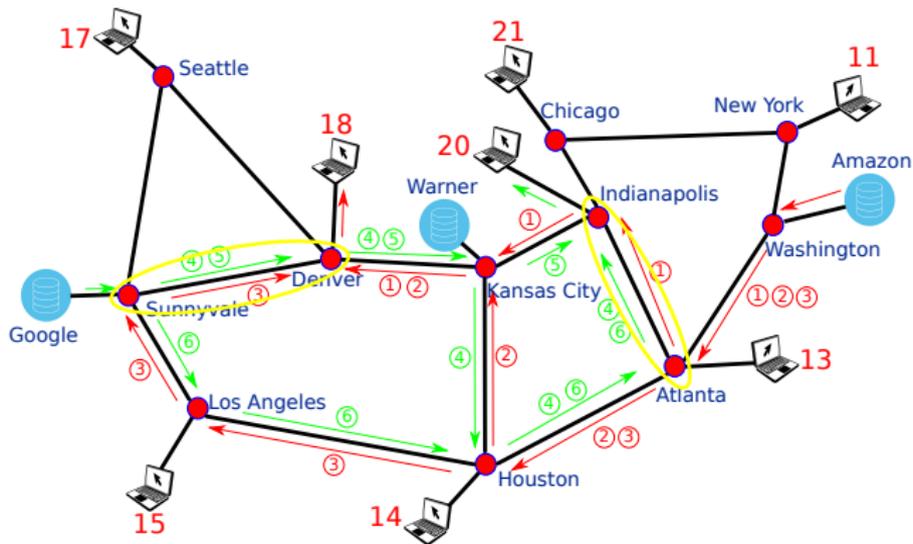
# Cooperative Congestion Control : Évaluations



- Les flux se croisent mais en sens inverse



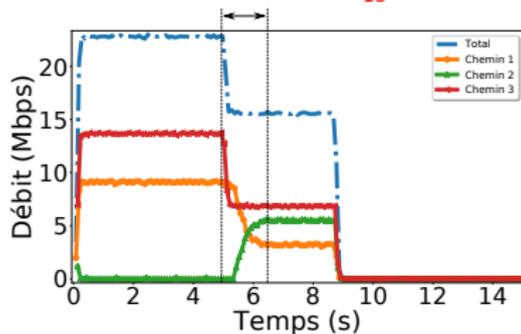
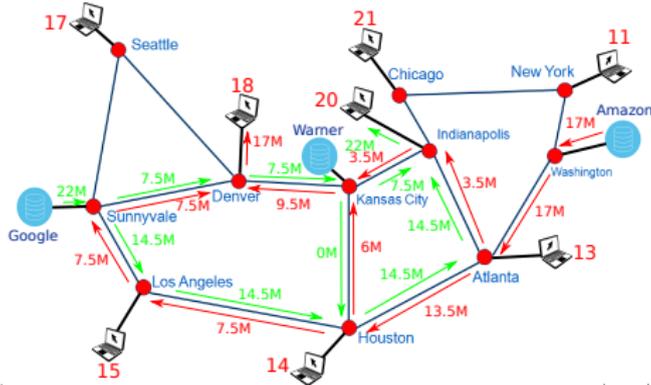
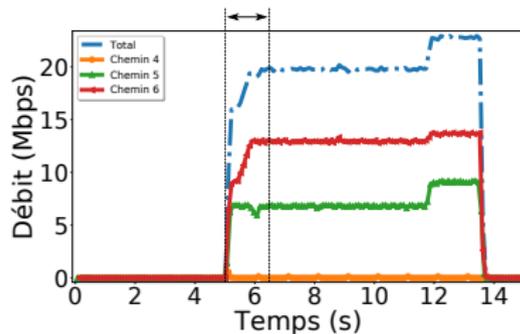
# Cooperative Congestion Control : Évaluations



- Les flux se croisent

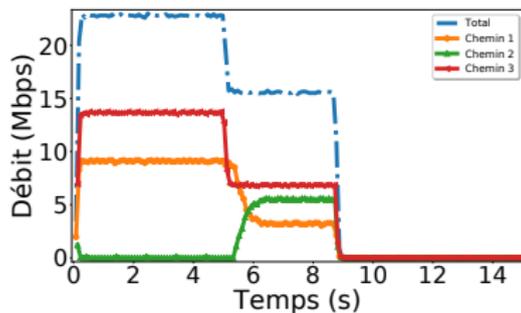
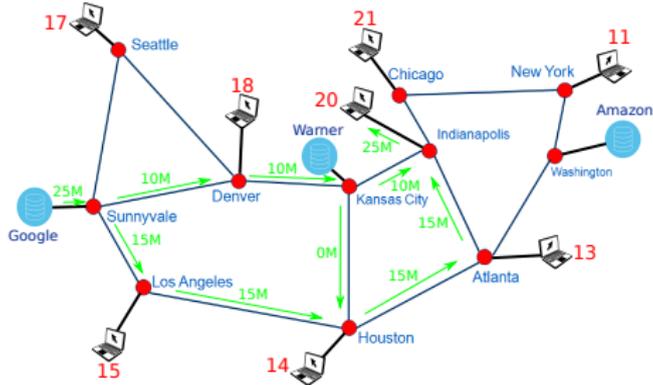
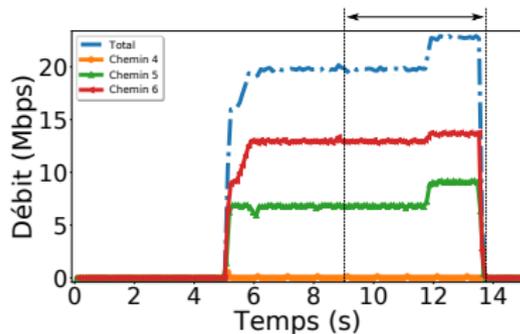


## Cooperative Congestion Control : Évaluations

Débit Flux rouge ( $C^{18}$ )Débit Flux vert ( $C^{20}$ )

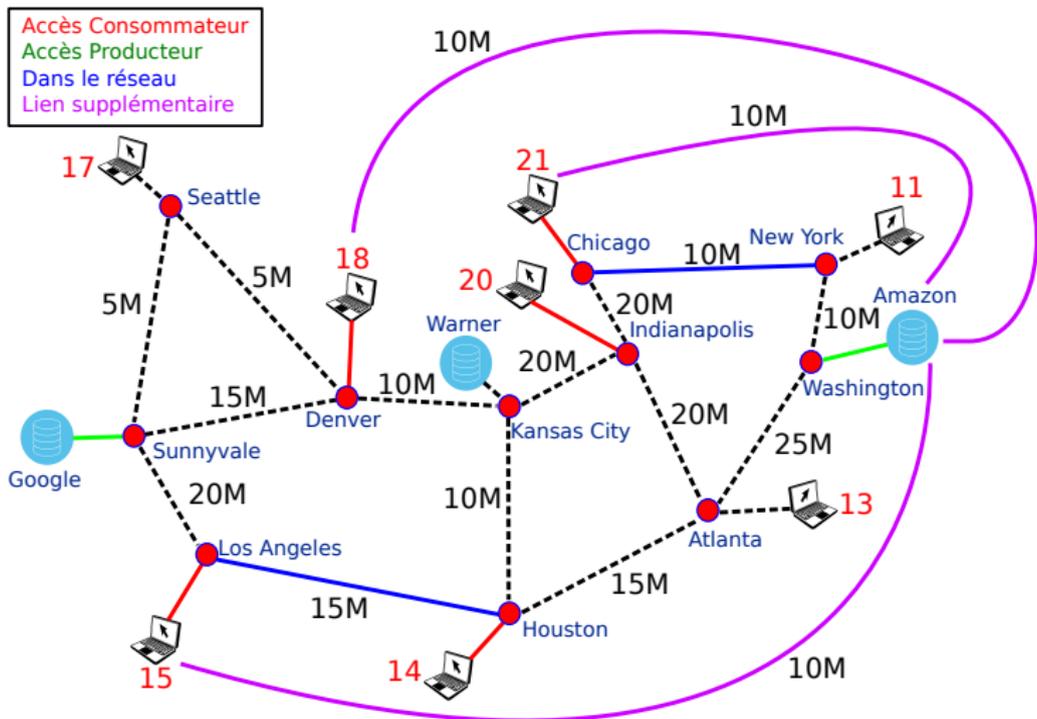


## Cooperative Congestion Control : Évaluations

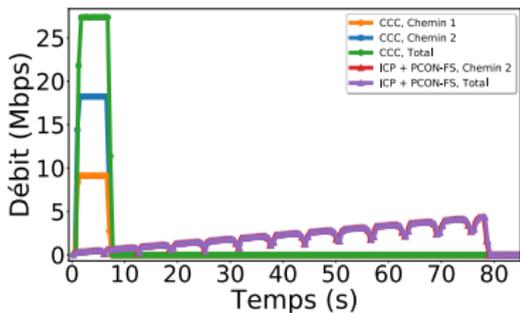
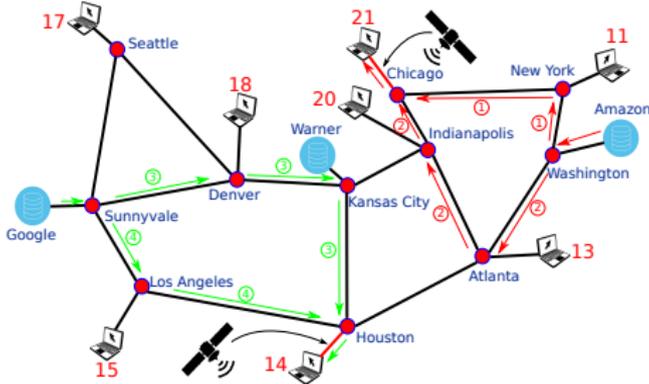
Débit Flux rouge ( $C^{18}$ )Débit Flux vert ( $C^{20}$ )

# Application à un contexte satellite

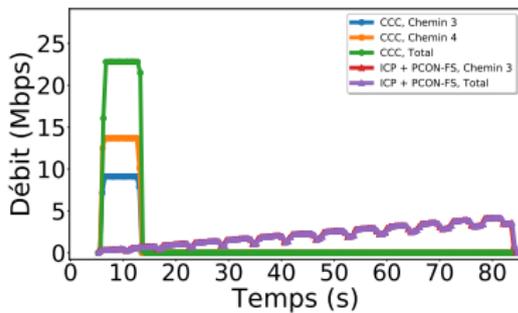
# Scénarios



# Satellite en Accès des consommateurs ou des producteurs

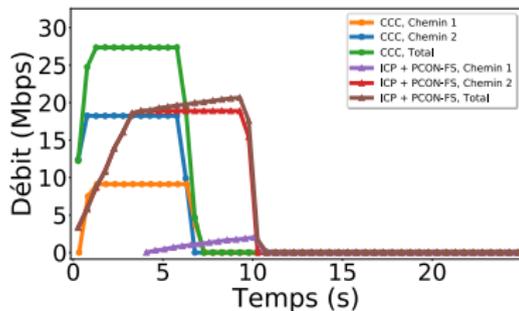
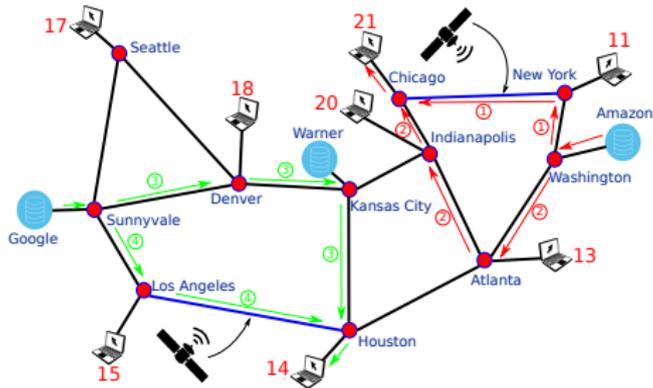


Débit Flux rouge (C<sup>21</sup>)

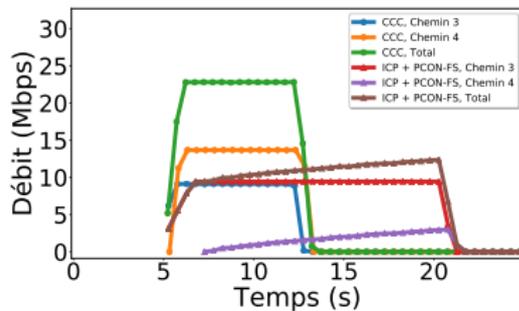


Débit Flux vert (C<sup>14</sup>)

# Satellite dans le réseau

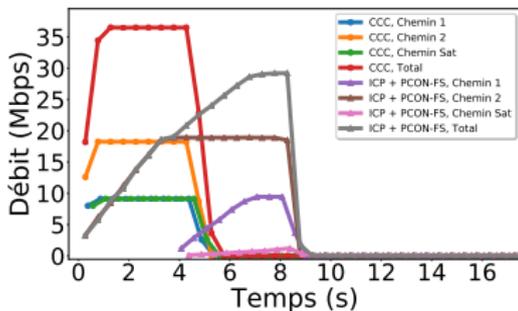
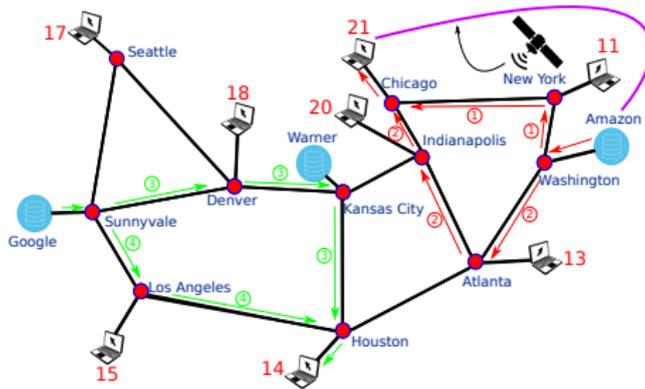


Débit Flux rouge ( $C^{21}$ )

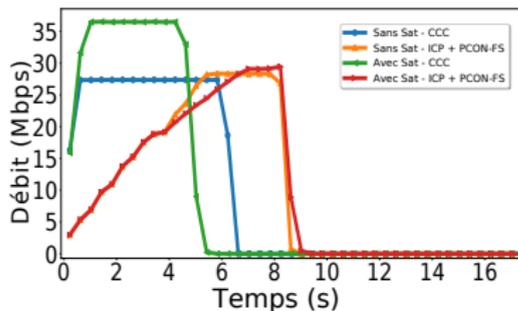


Débit Flux vert ( $C^{14}$ )

# Lien satellite supplémentaire



Débit Flux rouge ( $C^{21}$ )



Comparaison avec et sans sat

# Conclusion & Perspectives

# Conclusions

- Nouvelle Formulation du problème
  - Définition de Flux
  - Modèle
- Cooperative Congestion Control
  - Décentralisé et modulable
  - Utilisation efficace des multi-chemins
  - Équité Max-Min locale
  - Implantation complète sur ndnSIM
- Performances toujours très bonnes sur réseaux satellite
  - Rythme des Interest

## Conclusions

- Nouvelle Formulation du problème
  - Définition de Flux
  - Modèle
- Cooperative Congestion Control
  - Décentralisé et modulable
  - Utilisation efficace des multi-chemins
  - Équité Max-Min locale
  - Implantation complète sur ndnSIM
- Performances toujours très bonnes sur réseaux satellite
  - Rythme des Interest

# Conclusions

- Nouvelle Formulation du problème
  - Définition de Flux
  - Modèle
- Cooperative Congestion Control
  - Décentralisé et modulable
  - Utilisation efficace des multi-chemins
  - Équité Max-Min locale
  - Implantation complète sur ndnSIM
- Performances toujours très bonnes sur réseaux satellite
  - Rythme des Interest

## Perspectives

- Vers une vision plus globale
  - Équité Max-Min globale
  - Obtenir un basculement optimal
  
- Point de vue de l'opérateur du réseau
  - réduire ses coûts
  - favoriser certains liens
  - mettre en place des Classes de Service
  
- Multicast et caching

# Perspectives

- Vers une vision plus globale
  - Équité Max-Min globale
  - Obtenir un basculement optimal
  
- Point de vue de l'opérateur du réseau
  - réduire ses coûts
  - favoriser certains liens
  - mettre en place des Classes de Service
  
- Multicast et caching

# Perspectives

- Vers une vision plus globale
  - Équité Max-Min globale
  - Obtenir un basculement optimal
  
- Point de vue de l'opérateur du réseau
  - réduire ses coûts
  - favoriser certains liens
  - mettre en place des Classes de Service
  
- Multicast et caching

## Publications

- A. Thibaud, J. Fasson, F. Arnal, D. Pradas, E. Dubois et E. Chaput. "QoE enhancements on satellite networks through the use of caches". In : *International Journal of Satellite Communications and Networking* 36.6 (2018), p. 553-565. doi : <https://doi.org/10.1002/sat.1260>
- A. Thibaud, J. Fasson, F. Arnal, R. Sallantin, E. Dubois et E. Chaput. "An Analysis of NDN Congestion Control Challenges". In : *2019 2nd International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN)*. 2019, p. 18-24. doi : 10.1109/HotICN48464.2019.9063207
- A. Thibaud, J. Fasson, F. Arnal, R. Sallantin, E. Dubois et E. Chaput. "Cooperative Congestion Control in NDN". In : *ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*. 2020, p. 1-6. doi : 10.1109/ICC40277.2020.9149034
- A. Thibaud, J. Fasson, F. Arnal, R. Sallantin, E. Dubois et E. Chaput. "Reactivity Enhancement of Cooperative Congestion Control for Satellite Networks". In : *2020 3rd International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN)*. 2020, p. 135-141. doi : 10.1109/HotICN50779.2020.9350817
- A. Thibaud, J. Fasson, F. Arnal, D. Pradas, E. Dubois et E. Chaput. "Évaluation de l'impact de caches pour de la vidéo adaptative par satellite". In : *Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication*. Roscoff, France, mai 2018
- A. Thibaud, J. Fasson, F. Arnal, R. Sallantin, E. Dubois et E. Chaput. "Cooperative Congestion Control dans NDN". In : *Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication*. Lyon, France, sept. 2020

Merci de votre attention !

- ⑥ CCC - Structure de données
- ⑦ CCC - Format des messages dans NDN
- ⑧ CCC - Principe de Répartition
- ⑨ CCC - Implantation des Algorithmes de Répartition

Flow Id	Input Face Information List	Output Face Information List
Flow Id	Input Face Information List	Output Face Information List
	.	
	.	
	.	

(a) Flow Information Table

Flow Id	Input Face Information List	Output Face Information List
Flow Id	Input Face Information List	Output Face Information List
⋮		

(a) Flow Information Table

Face Id = 1	$p_{i,1\_obj}$	$p_{o,1\_max}$	$p_{i,1\_max}$
Face Id = 2	$p_{i,2\_obj}$	$p_{o,2\_max}$	$p_{i,2\_max}$
⋮			
Face Id = Q	$p_{i,Q\_obj}$	$p_{o,Q\_max}$	$p_{i,Q\_max}$

(b) Input Face Information List

Flow Id	Input Face Information List	Output Face Information List
Flow Id	Input Face Information List	Output Face Information List
⋮		

(a) Flow Information Table

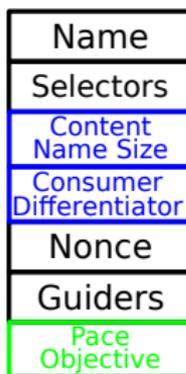
Face Id = 1	$p_{i,1\_obj}$	$p_{o,1\_max}$	$p_{i,1\_max}$
Face Id = 2	$p_{i,2\_obj}$	$p_{o,2\_max}$	$p_{i,2\_max}$
⋮			
Face Id = Q	$p_{i,Q\_obj}$	$p_{o,Q\_max}$	$p_{i,Q\_max}$

(b) Input Face Information List

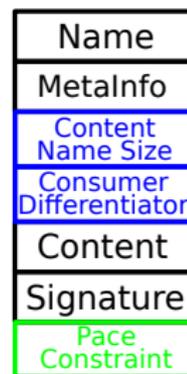
Face Id = 1	$p_{o,1\_obj}$	$p_{i,1\_obj}$	$p_{i,1\_max}$
Face Id = 2	$p_{o,2\_obj}$	$p_{i,2\_obj}$	$p_{i,2\_max}$
⋮			
Face Id = N	$p_{o,N\_obj}$	$p_{i,N\_obj}$	$p_{i,N\_max}$

(c) Output Face Information List

Figure – Tables de CCC



(a) Message Interest



(b) Message Data

Figure – Nouveau format des messages

- Ajout d'un champ "Content Name Size"
- Ajout d'un champ "Consumer Differentiator"
- Ajout d'un champ "Pace Objective/Contrainte"

- Entre les flux
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Entre les interfaces

- Entre les flux
  - Rôle : Définir une répartition théorique permettant de :
    - satisfaire les demandes
    - distribuer totalement la capacité
    - mettre en place une stratégie d'allocation
  
- Entre les interfaces

- Entre les flux
  - Rôle : Définir une répartition théorique permettant de :
    - satisfaire les demandes
    - distribuer totalement la capacité
    - mettre en place une stratégie d'allocation
  - Deux algorithmes
    - Répartition inter-flux des Objectifs (**Upstream**)
    - Répartition inter-flux des Contraintes (**Downstream**)
  
- Entre les interfaces

- Entre les flux
- Entre les interfaces
  - Rôle : Répartir les informations entrantes en respectant les infos précédentes et les lois de conservations

- Entre les flux
- Entre les interfaces
  - Rôle : Répartir les informations entrantes en respectant les infos précédentes et les lois de conservations
  - Deux algorithmes
    - Répartition inter-chemins des Objectifs (**Upstream**)
    - Répartition inter-chemins des Contraintes (**Downstream**)



- Downstream
  - Satisfaire les flux en distribuant la capacité du lien également
  - Limiter les flux en distribuant le reste également
  - Équilibrer les contraintes
  
- Upstream
  - Limiter les flux en distribuant la capacité du lien également
  - Équilibrer les objectifs

- Downstream
  - Satisfaire les flux en distribuant la capacité du lien également
  - Limiter les flux en distribuant le reste également
  - Équilibrer les contraintes
  
- Upstream
  - Limiter les flux en distribuant la capacité du lien également
  - Équilibrer les objectifs

- Downstream
  - Satisfaire les flux en distribuant la capacité du lien également
  - Limiter les flux en distribuant le reste également
  - Équilibrer les contraintes
  
- Upstream
  - Limiter les flux en distribuant la capacité du lien également
  - Équilibrer les objectifs

⇒ Mise en place de la stratégie d'allocation (Équité Max-Min)

- Downstream
- Upstream

- Downstream

- Satisfaire les flux au mieux

$$\varphi_{Down} = \max(0, \sum_q p_{i,q\_obj} - \sum_n p_{i,n\_max})$$

$$\forall q, p_{o,q\_max} = \min(p_{i,q\_obj} - \frac{\varphi_{Down}}{Q}, p_{l,q\_max})$$

- Distribuer le surplus (cas où  $\sum_q p_{o,q\_max} < \sum_n p_{i,n\_max}$ )

$$surplus = \sum_n p_{i,n\_max} - \sum_q p_{o,q\_max}$$

$$\forall q \mid p_{o,q\_max} < p_{l,q\_max}, p_{o,q\_max} = \min(p_{o,q\_max} + \frac{surplus}{Q'}, p_{l,q\_max})$$

- Upstream

- Downstream

- Upstream

- Demander les flux au mieux

$$\varphi_{Up} = \max(0, \sum_n p_{i,n\_max} - \sum_q p_{i,q\_obj})$$

$$\forall n, p_{o,n\_obj} = \min(p_{i,n\_max} - \frac{\varphi_{Up}}{N}, p_{l,n\_obj})$$

- Distribuer le surplus (cas où  $\sum_n p_{o,n\_obj} < \sum_q p_{i,q\_obj}$ )

- $surplus = \sum_q p_{i,q\_obj} - \sum_n p_{o,n\_obj}$

$$\forall n \mid p_{o,n\_obj} < p_{l,n\_obj}, p_{o,n\_obj} = \min(p_{o,n\_obj} + \frac{surplus}{N'}, p_{l,n\_obj})$$

- Downstream
- Upstream
  - Demander les flux au mieux

$$\varphi_{Up} = \max(0, \sum_n p_{i,n\_max} - \sum_q p_{i,q\_obj})$$

$$\forall n, p_{o,n\_obj} = \min(p_{i,n\_max} - \frac{\varphi_{Up}}{N}, p_{l,n\_obj})$$

- Distribuer le surplus (cas où  $\sum_n p_{o,n\_obj} < \sum_q p_{i,q\_obj}$ )
  - $surplus = \sum_q p_{i,q\_obj} - \sum_n p_{o,n\_obj}$

$$\forall n \mid p_{o,n\_obj} < p_{l,n\_obj}, p_{o,n\_obj} = \min(p_{o,n\_obj} + \frac{surplus}{N'}, p_{l,n\_obj})$$

⇒ Implantation identique