

# Livraison de contenu sur réseau hybride satellite-terrestre

Élie BOUTTIER<sup>1</sup>, Riadh DHAOU<sup>2</sup>, Fabrice ARNAL<sup>3</sup>, Cédric  
BAUDOIN<sup>3</sup>, Emmanuel DUBOIS<sup>4</sup>, André-Luc BEYLOT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TéSA

<sup>2</sup>INP-Toulouse

<sup>3</sup>Thales AléniA Space

<sup>4</sup>Centre National d'Études Spaciales

19 avril 2017



## Réseau de diffusion de contenu

- Content Delivery Network (CDN)

- Content Delivery Networks Interconnection (CDNI)

## Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

- Routage par flux

  - Algorithmes

  - Modèle

  - Testbed

  - Résultats



## Réseau de diffusion de contenu

Content Delivery Network (CDN)

Content Delivery Networks Interconnection (CDNI)

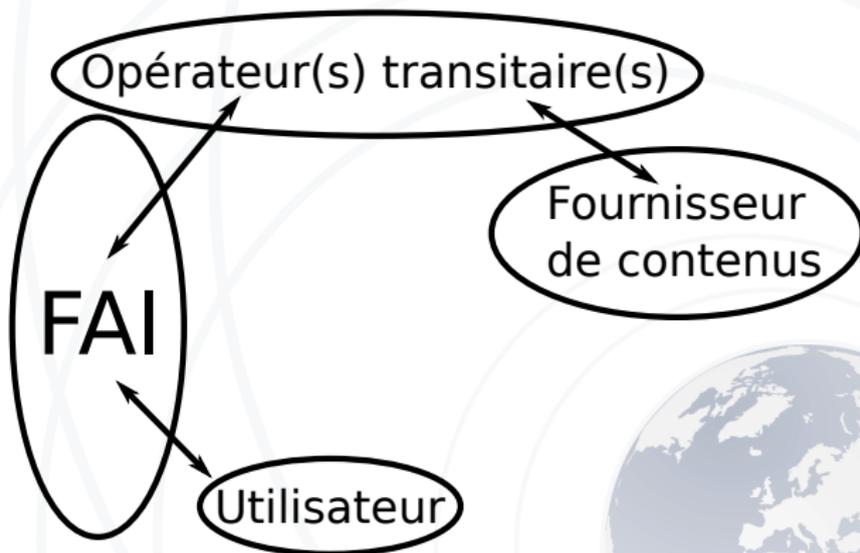
## Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

Routage par flux



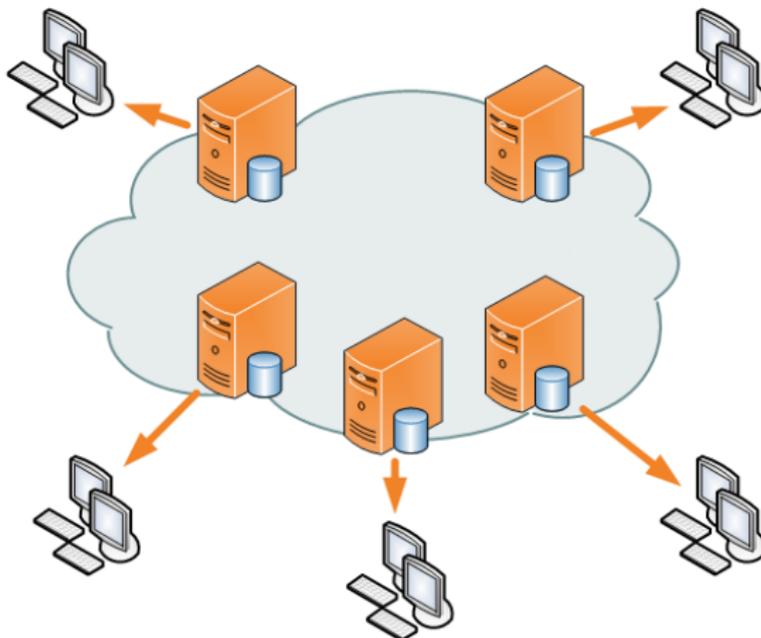
# Récupération traditionnelle d'un contenu



Un abonné d'un FAI accède à un contenu proposé par un fournisseur de contenus.

# Content Delivery Network (CDN)

Un CDN est un réseau de serveurs, appelés Edge Server ou Cache Server, mettant à disposition du contenu à des utilisateurs.



- ▶ Réduction de la latence
- ▶ Réduction des coûts de transit
- ▶ Réduction de la charge du fournisseur de contenus
- ▶ Services supplémentaires
  - ▶ Protection DDoS
  - ▶ Génération dynamique des pages
  - ▶ Collecte de métriques
  - ▶ Restriction géographique
  - ▶ Digital Rights Management (DRM)



# Routage de l'utilisateur vers le meilleur serveur

- ▶ DNS
- ▶ IP AnyCast
- ▶ Redirection HTTP
- ▶ Load Balancer



# Domain Name System (DNS)

- ▶ Les contenus à diffuser via le CDN sont placés sur un sous domaine, par exemple `media.acme.com`
- ▶ Le sous-domaine est délégué aux serveurs DNS du prestataire :  
`media.acme.com NS ns1.cdn-op.com`
- ▶ Lors d'une requête d'un client, le serveur répond avec l'IP de l'Edge Server le plus approprié
- ▶ L'utilisateur est localisé par l'IP de son résolveur DNS
- ▶ La réponse contient généralement un TTL faible (e.g. 5 min)



- ▶ Une même IP correspond à plusieurs serveurs
- ▶ Elle est annoncée en BGP depuis plusieurs POPs
- ▶ L'utilisateur accède au serveur le plus proche au sens de la métrique BGP (AS Path Length)



- ▶ Réponse HTTP 302 Moved Temporarily
- ▶ Redirection par le fournisseur de contenu
- ▶ Redirection par l'opérateur de CDN
- ▶ Redirection par un cache vers un autre cache plus approprié



- ▶ Placement pro-actif des contenus
- ▶ Intelligence de routage
- ▶ Algorithme d'éviction
  - ▶ Least Recently Use (LRU)
  - ▶ Least Frequently Use (LFU)
  - ▶ GreedyDual Size (GDS)



## Réseau de diffusion de contenu

Content Delivery Network (CDN)

Content Delivery Networks Interconnection (CDNI)

## Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

Algorithmes

Modèle

Testbed

Résultats



# Content Delivery Networks Interconnection (CDNI)

CDNI est un ensemble d'interfaces et de mécanismes normalisés permettant l'interconnexion de plusieurs CDNs entre eux.

Avantages :

- ▶ Amélioration de la couverture géographique
- ▶ Résilience aux pannes
- ▶ Meilleure réponse aux charges / DDoS
- ▶ Réduction des coûts de l'infrastructure

Cas d'usage : TelCo CDN

Terminologie :

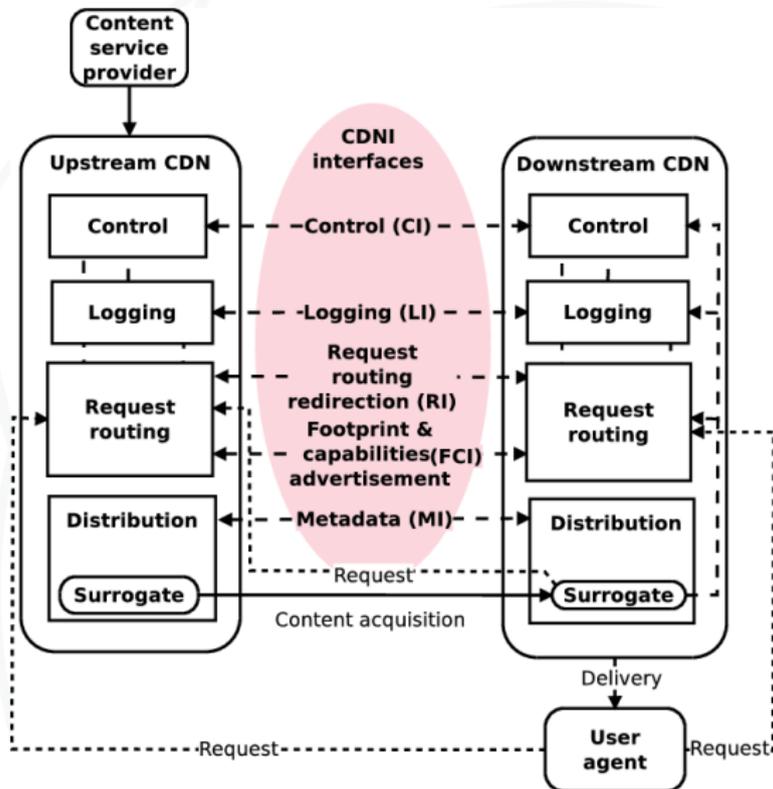
- ▶ CP: Content Provider
- ▶ uCDN: up-stream CDN
- ▶ dCDN: down-stream CDN
- ▶ UE: User Equipment



- ▶ Control Interface (CI)
- ▶ Request Routing Interface (RRI)
  - ▶ Footprint & Capabilities Interface (FCI)
  - ▶ Request routing indirection Interface (RI)
- ▶ Metadata Interface (MI)
- ▶ Logging Interface (LI)



# Architecture



Réseau de diffusion de contenu

Réseau hybride satellite-terrestre

Architecture de routage intelligent

Algorithmes

Modèle

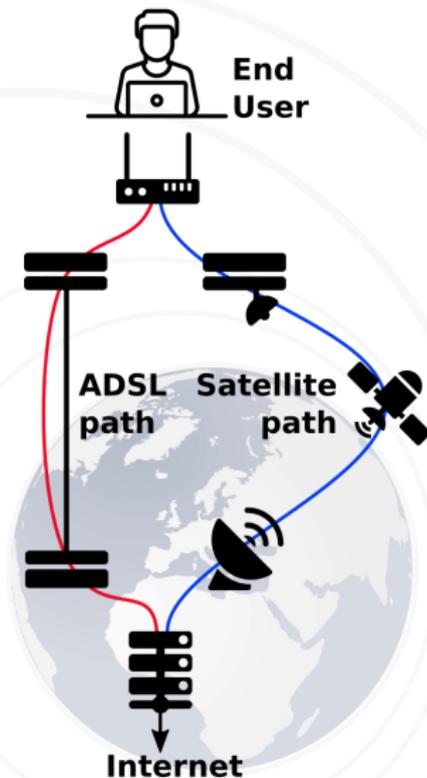
Testbed

Résultats



# Pourquoi un réseau hybride satellite-terrestre ?

- ▶ Zones rurales mal desservies
- ▶ Liaison satellite haut débit ...
- ▶ ... et grande latence



# Pourquoi utiliser un réseau multi-chemins ?

- ▶ Débit agrégé
- ▶ Répartition de la charge
- ▶ Résilience



# Problématique lié à l'utilisation d'un réseau hybride

- ▶ Délai du lien satellite
- ▶ Réordonnancement des paquets, mal interprété par TCP



- ▶ Ne pas utiliser sur réseau hétérogène
- ▶ Réordonnancement à l'arrivée
- ▶ Émission désordonné intelligente
- ▶ Routage par flux



# Multipath TCP (MP-TCP)

## Fonctionnement :

- ▶ Création d'un sub-flow sur chaque chemin
- ▶ Double numérotation des paquets
- ▶ Réordonnancement à l'arrivée

## Avantages :

- ▶ Débit agrégé
- ▶ Rétro-compatible avec TCP
- ▶ Même API que TCP



Réseau de diffusion de contenu

Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

Routage par flux

Algorithmes

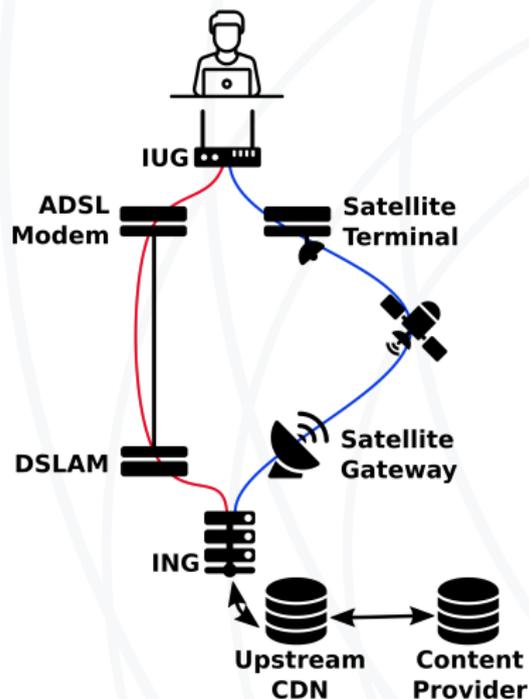
Modèle

Testbed

Résultats

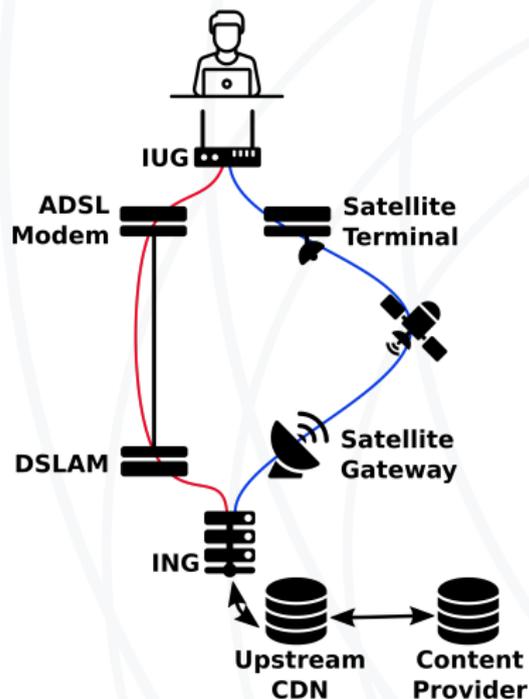


# Architecture



- ▶ Réseau hybride opéré par un opérateur virtuel
- ▶ Intelligent User Gateway (IUG)
- ▶ Intelligent Network Gateway (ING)
- ▶ L'opérateur virtuel a son propre (Downstream) CDN
- ▶ Le Content Provider héberge ses contenus chez un Upstream CDN
- ▶ Interconnexion des CDN via CDNI

# Avantages



- ▶ Mise en cache des contenus plus proche de l'utilisateur (ING / IUG)
- ▶ Accès à des informations précises sur les contenus via l'interface de métadonnées (MI)

Réseau de diffusion de contenu

Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

### Routage par flux

Algorithmes

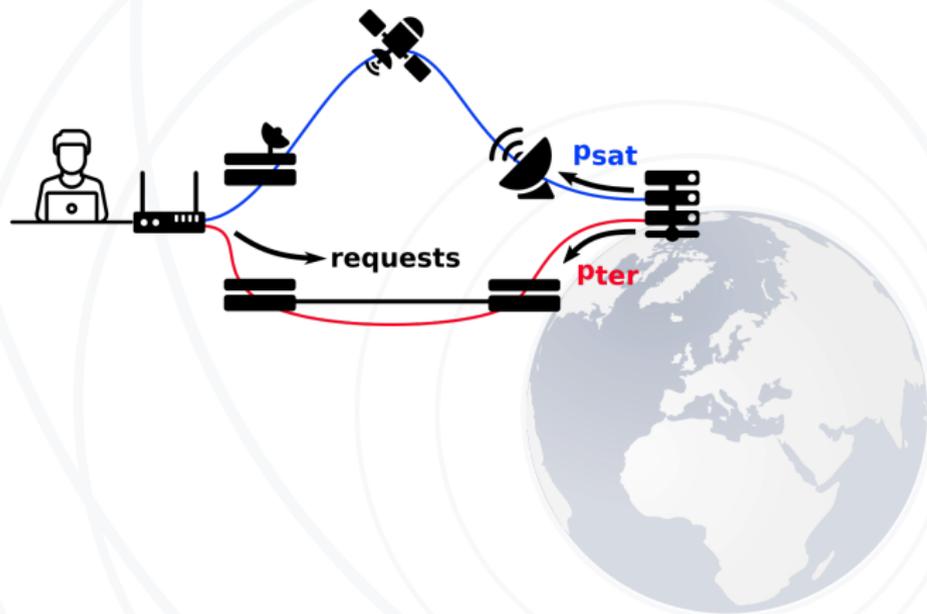
Modèle

Testbed

Résultats

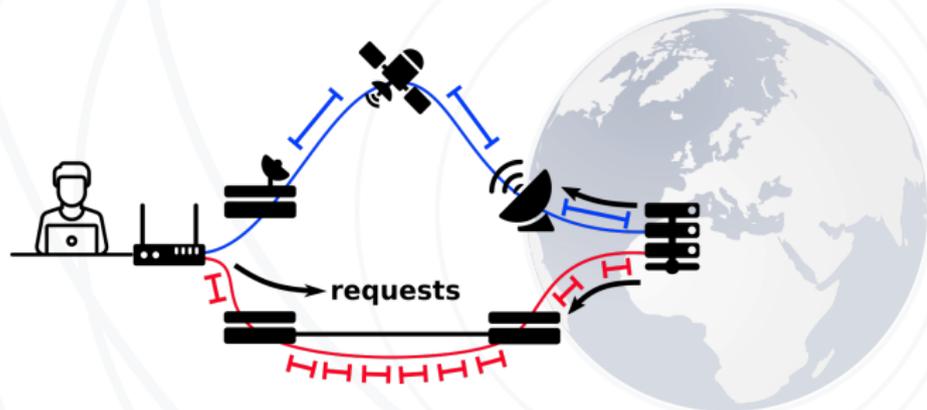


# (1/3) Routage probabiliste



## (2/3) Routage par seuillage sur la taille

- ▶ Les objets courts sont plus sensibles au délai (e.g. contenus HTML, requêtes AJAX)
- ▶ Les objets longs bénéficient avantageusement d'un meilleur débit (réduisant le temps de téléchargement)
- ▶ On considère un seuil  $T$ ; les objets plus courts sont routés via le réseau terrestre tandis que les objets plus longs sont routés via le réseau satellite



## (3/3) Routage par minimisation du temps de completion (MinFCT)

On estime pour chaque lien le temps de completion (Flow Completion Time, FCT) :

$$FCT_i = d_i + (n_i + 1) \cdot \frac{s}{c_i} + \sum_{j=0}^{n_i} \frac{\min(r_j, s)}{b_i}$$

avec :

- ▶  $d_i$ : délai du lien
- ▶  $n_i$ : nombre de flux affecté au lien
- ▶  $s$ : taille des objets
- ▶  $c_i$ : capacité du lien
- ▶  $r_j$ : quantité restante de données à transférer pour le flux  $j$



Réseau de diffusion de contenu

Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

### Routage par flux

Algorithmes

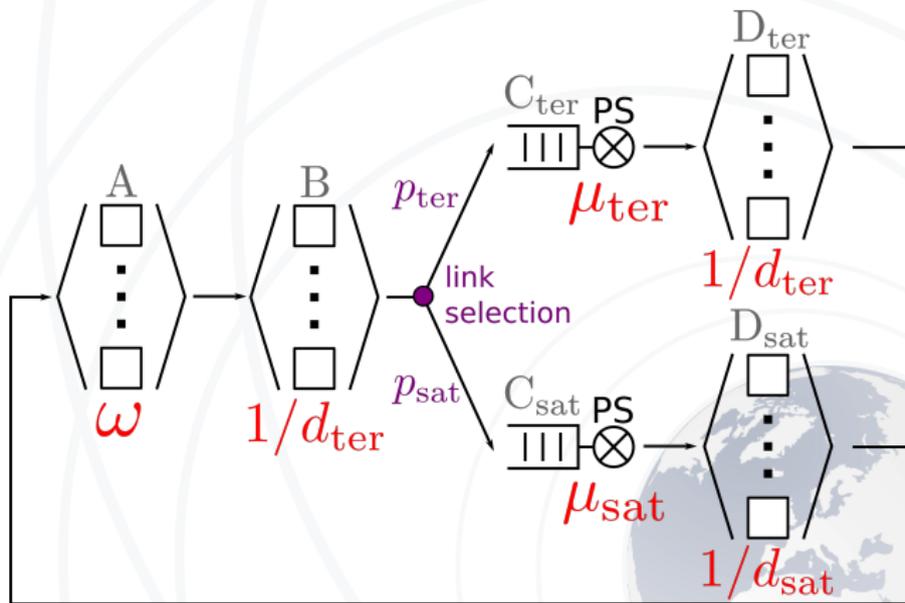
Modèle

Testbed

Résultats



# Réseau de files d'attentes fermé avec une population finie



- Analyse de performance via **Mean-Value Analysis (MVA)**

Réseau de diffusion de contenu

Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

### Routage par flux

Algorithmes

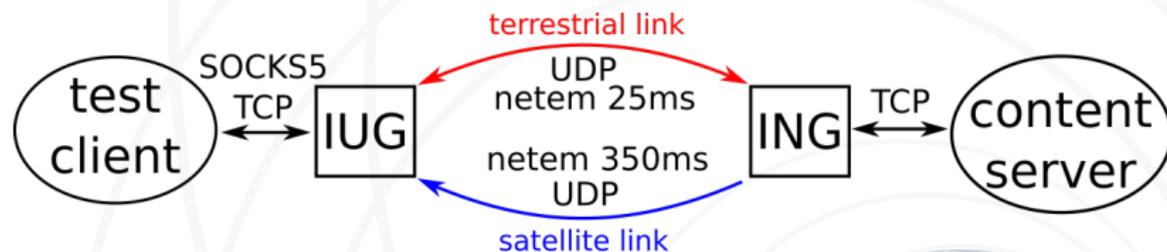
Modèle

Testbed

Résultats



# Architecture



- ▶ *m* utilisateurs
- ▶ débit limité logiciellement

Réseau de diffusion de contenu

Réseau hybride satellite-terrestre

## Architecture de routage intelligent

### Routage par flux

Algorithmes

Modèle

Testbed

Résultats

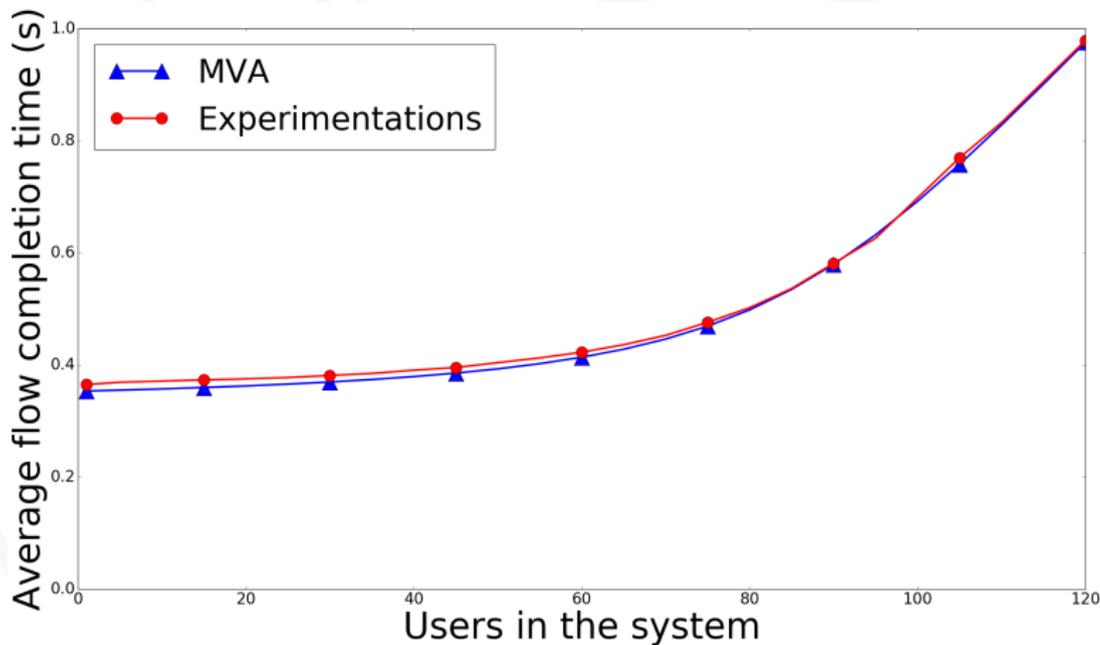


# Paramètres d'expérimentation

- ▶ Le temps d'attente suit une loi exponentielle ( $1/\mu = 1$  second)
- ▶ La taille des objets suit une loi exponentielle ( $1/\mu = 11600$  o)
- ▶ Lien terrestre à 1Mbits/s avec une latence de 25 ms
- ▶ Lien satellite à 5 Mbits/s avec une latence de 350 ms

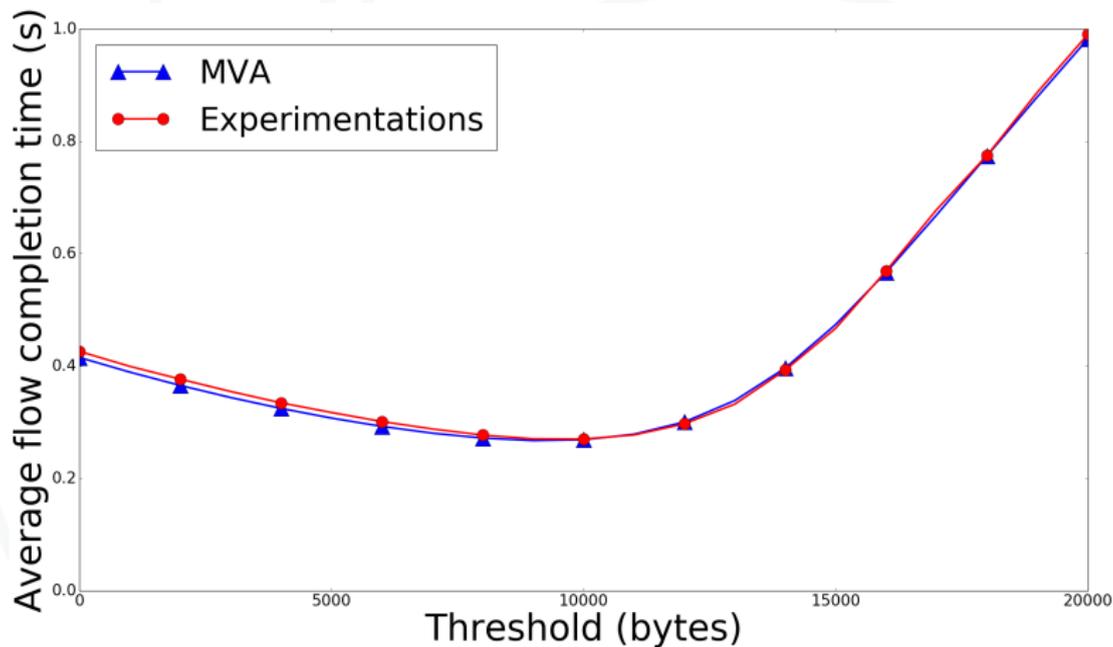


# Routage probabiliste



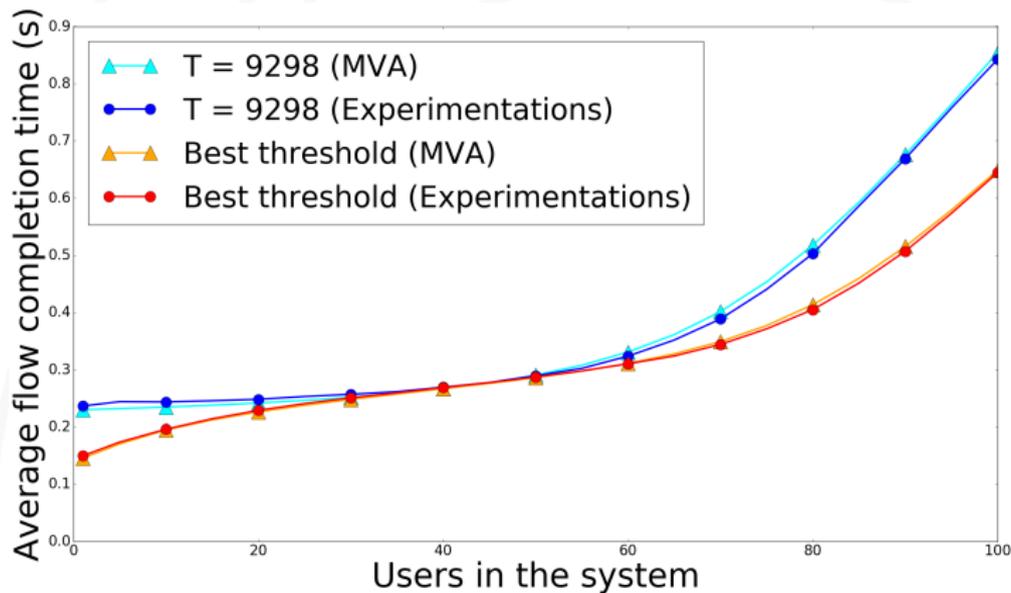
- ▶ Routing probabilities proportional to links rate ( $\frac{1}{6}$  and  $\frac{5}{6}$ )

# Routage par seuillage sur la taille



- ▶ Population de 40 utilisateurs

# Routage par seuillage sur la taille



- ▶ Le seuil doit être adapté suivant la charge actuel

# Comparaison expérimental des 3 algorithmes de routage

