



Laboratoire LSIT

Université de Strasbourg

/ CNRS

THÈSE présentée pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Strasbourg

Discipline : INFORMATIQUE

VINCENT LUCAS

CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE POUR LE MULTICAST
ET INTERFACE AVEC LE NIVEAU APPLICATIF

Soutenance le 21 septembre 2010

Membres du jury

Directeur : JEAN-JACQUES PANSIOT, Professeur, Université de Strasbourg

Rapporteurs : GUY LEDUC, Professeur, Université de Liège

FRANÇOIS SPIES, Professeur, Université de Franche-Comté

Examineurs : THOMAS NOËL, Professeur, Université de Strasbourg

VINCENT ROCA, Chargé de recherches, INRIA Rhône-Alpes

BENOÎT HILT, Maître de Conférences, Université de Haute Alsace

CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE POUR LE MULTICAST ET INTERFACE AVEC LE NIVEAU APPLICATIF

1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Communications de groupe

Contrôle de congestion

2. CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Méthodes d'évaluation

Le protocole M2C

3. ORGANISATION DES DONNÉES

Interface avec l'application

Utilisation par l'application

4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Perspectives

CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE POUR LE MULTICAST ET INTERFACE AVEC LE NIVEAU APPLICATIF

1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Communications de groupe

Contrôle de congestion

2. CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Méthodes d'évaluation

Le protocole M2C

3. ORGANISATION DES DONNÉES

Interface avec l'application

Utilisation par l'application

4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Perspectives

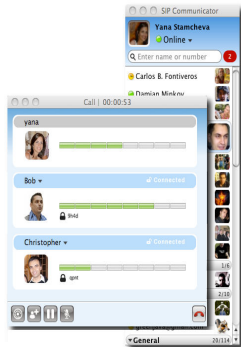
CONTEXTE GÉNÉRAL

Communications de groupe

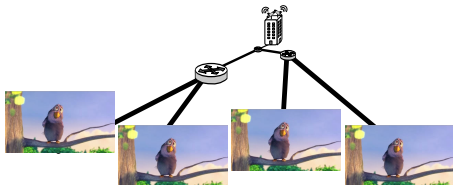
Application transmet les mêmes données vers plusieurs récepteurs :

- diffusion audio / vidéo,
- échange de fichiers.

AUDIO CONFÉRENCE



TÉLÉVISION SUR INTERNET (IPTV)

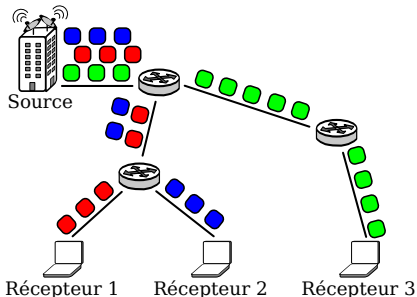


APPLICATIONS BOURSIÈRES

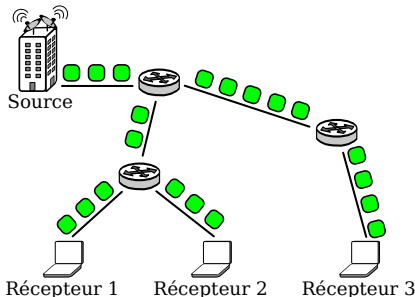


Utilisation du **multicast IP**.

FLUX UNICAST IP



FLUX MULTICAST IP



Objectifs :

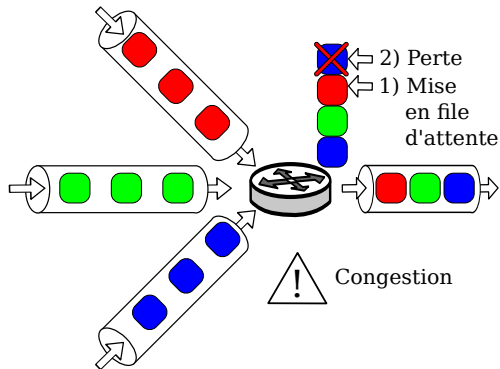
- Minimiser le nombre de copies de la même donnée.
- Performances indépendantes du nombre de récepteurs,
Notion de **passage à l'échelle** (*extensibilité*).

Multicast IP : uniquement pour les flux de longue durée.

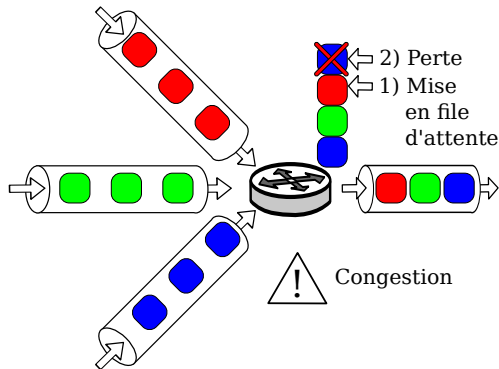
CONTEXTE GÉNÉRAL

Contrôle de congestion

LIEN FAIBLE



LIEN FAIBLE

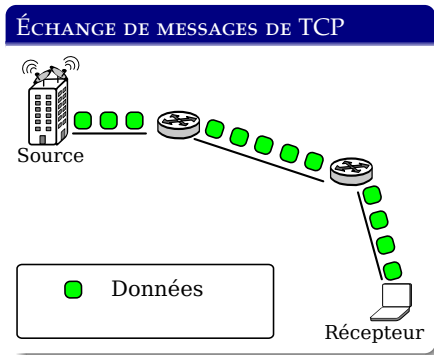


Objectifs du contrôle de congestion :

- Permettre l'utilisation maximale de la bande passante.
- Limiter les pertes de paquets.
- Partager équitablement la bande passante entre les différents flux parcourant le lien faible.

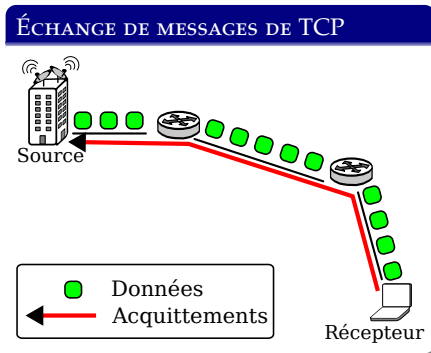
Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
- La source envoie des données au récepteur.



Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

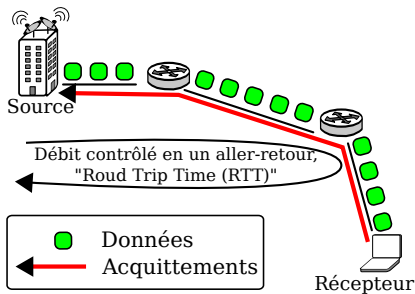
- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.



Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.
 - La source contrôle le débit envoyé en fonction des pertes estimées, déduites grâce aux acquittements reçus.

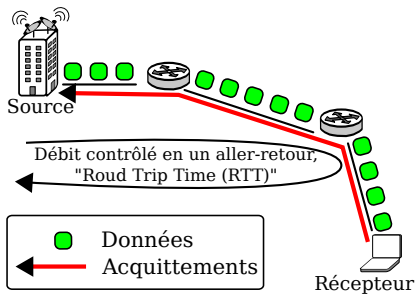
ÉCHANGE DE MESSAGES DE TCP



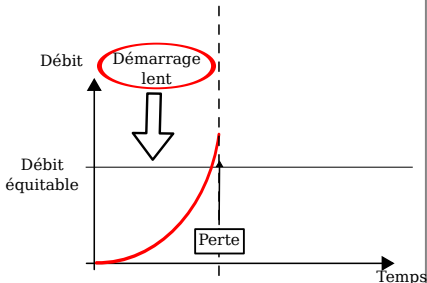
Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.
 - La source contrôle le débit envoyé en fonction des pertes estimées, déduites grâce aux acquittements reçus.

ÉCHANGE DE MESSAGES DE TCP



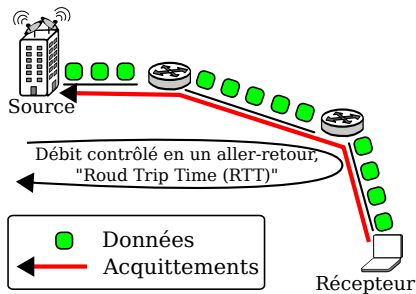
ALGORITHME DU CONTRÔLE DE CONGESTION DE TCP



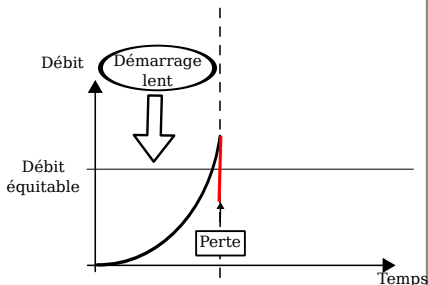
Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.
 - La source contrôle le débit envoyé en fonction des pertes estimées, déduites grâce aux acquittements reçus.

ÉCHANGE DE MESSAGES DE TCP



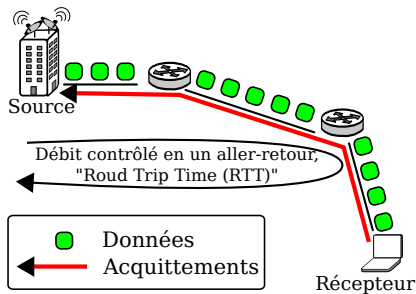
ALGORITHME DU CONTRÔLE DE CONGESTION DE TCP



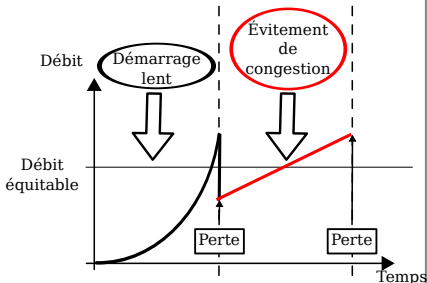
Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.
 - La source contrôle le débit envoyé en fonction des pertes estimées, déduites grâce aux acquittements reçus.

ÉCHANGE DE MESSAGES DE TCP



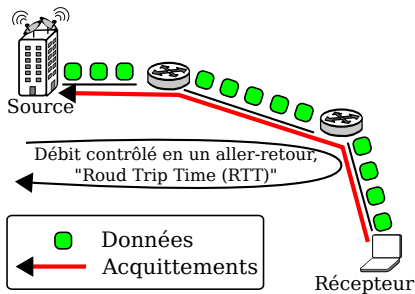
ALGORITHME DU CONTRÔLE DE CONGESTION DE TCP



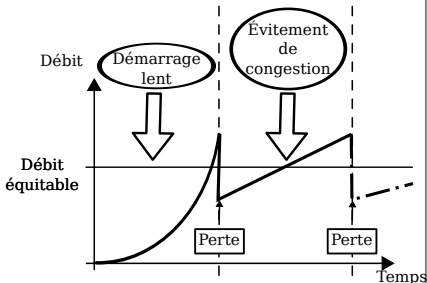
Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.
 - La source contrôle le débit envoyé en fonction des pertes estimées, déduites grâce aux acquittements reçus.

ÉCHANGE DE MESSAGES DE TCP



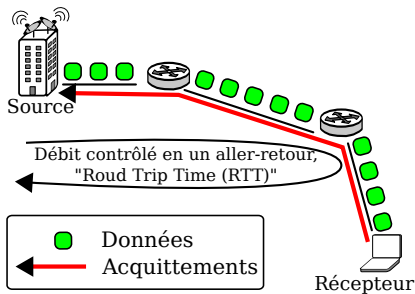
ALGORITHME DU CONTRÔLE DE CONGESTION DE TCP



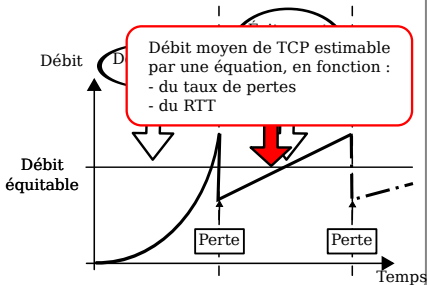
Contrôle de congestion unicast de TCP (NewReno) :

- De bout en bout, entre la source et le récepteur.
 - La source envoie des données au récepteur.
 - Le récepteur acquitte les données reçues à la source.
 - La source contrôle le débit envoyé en fonction des pertes estimées, déduites grâce aux acquittements reçus.

ÉCHANGE DE MESSAGES DE TCP



ALGORITHME DU CONTRÔLE DE CONGESTION DE TCP

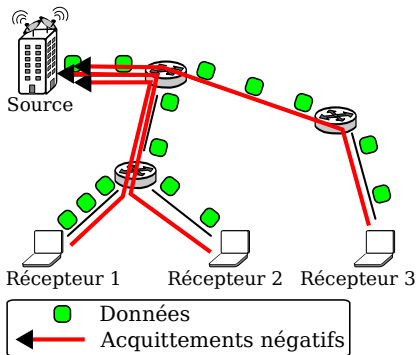


1) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À DÉBIT UNIQUE

Principes proches de ceux de TCP :

- Chaque récepteur envoie des acquittements négatifs.
- La source contrôle le débit, qui correspond au récepteur ayant le moins de bande passante disponible.

FLUX MULTICAST AVEC SOURCE À DÉBIT UNIQUE

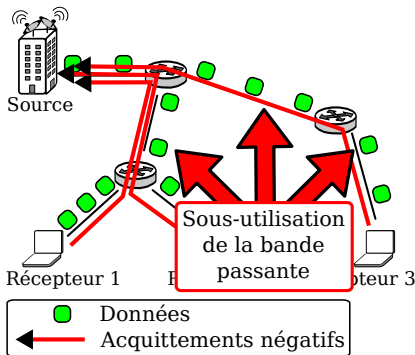


1) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À DÉBIT UNIQUE

Principes proches de ceux de TCP :

- Chaque récepteur envoie des acquittements négatifs.
- La source contrôle le débit, qui correspond au récepteur ayant le moins de bande passante disponible.

FLUX MULTICAST AVEC SOURCE À DÉBIT UNIQUE

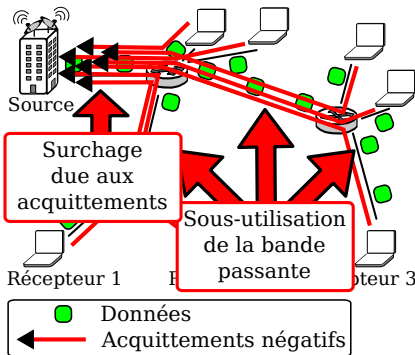


1) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À DÉBIT UNIQUE

Principes proches de ceux de TCP :

- Chaque récepteur envoie des acquittements négatifs.
- La source contrôle le débit, qui correspond au récepteur ayant le moins de bande passante disponible.

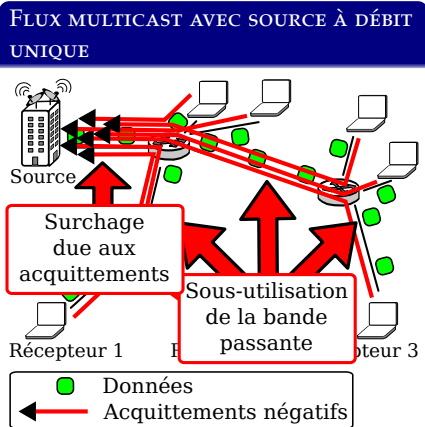
FLUX MULTICAST AVEC SOURCE À DÉBIT UNIQUE



1) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À DÉBIT UNIQUE

Principes proches de ceux de TCP :

- Chaque récepteur envoie des acquittements négatifs.
- La source contrôle le débit, qui correspond au récepteur ayant le moins de bande passante disponible.



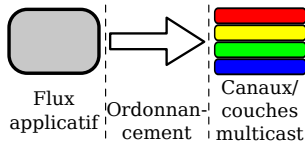
Ainsi, l'**extensibilité** du multicast IP est conservé en **prohibant l'envoi de message des récepteurs vers la source.**

2) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX STATIQUES

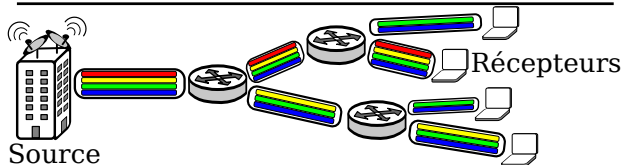
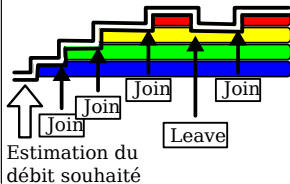
- Utilisations de multiples canaux.
- Chaque récepteur reçoit un débit correspondant à ses capacités.

FLUX MULTICAST AVEC SOURCE UTILISANT DES CANAUX À DÉBITS STATIQUES

Algorithme de la source :



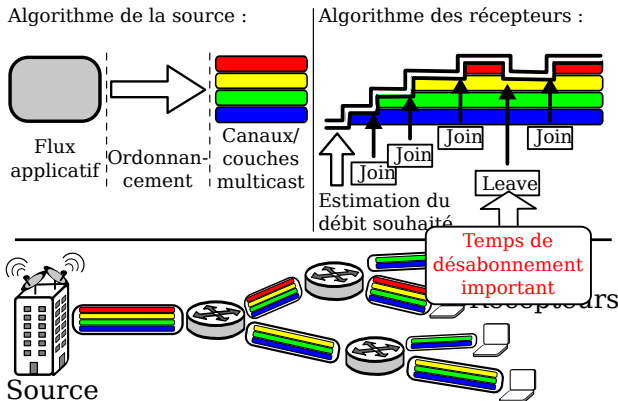
Algorithme des récepteurs :



2) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX STATIQUES

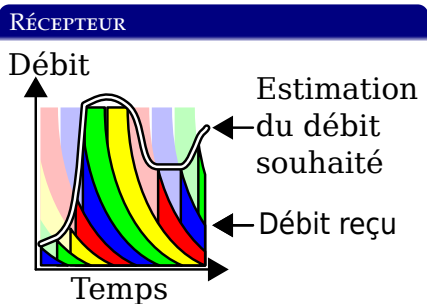
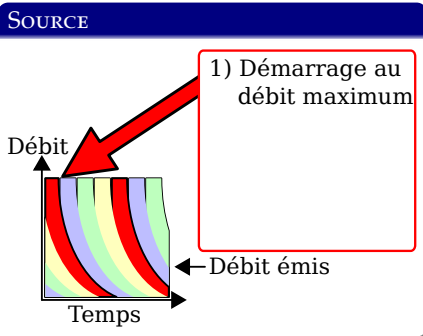
- Utilisations de multiples canaux.
- Chaque récepteur reçoit un débit correspondant à ses capacités.

FLUX MULTICAST AVEC SOURCE UTILISANT DES CANAUX À DÉBITS STATIQUES



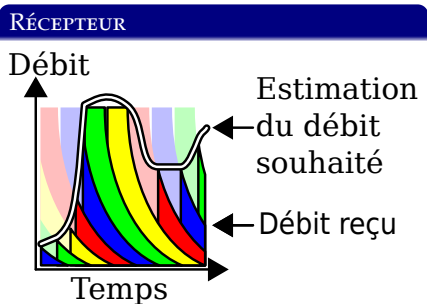
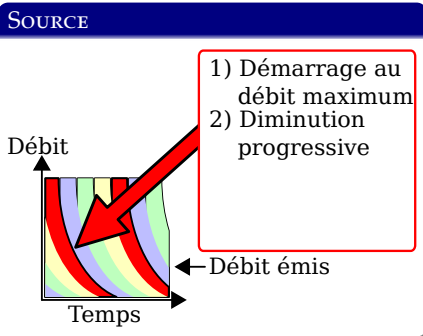
3) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX DYNAMIQUES

- Un récepteur réduit son débit en patientant (pas de signalisation nécessaire).



3) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX DYNAMIQUES

- Un récepteur réduit son débit en patientant (pas de signalisation nécessaire).



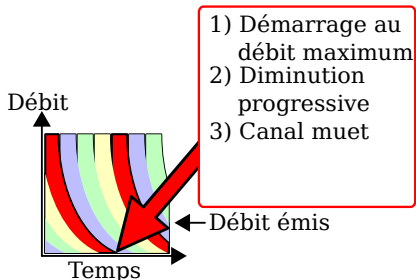
Cette estimation doit être équitable :

- Envers les flux multicast
- et envers les flux TCP.

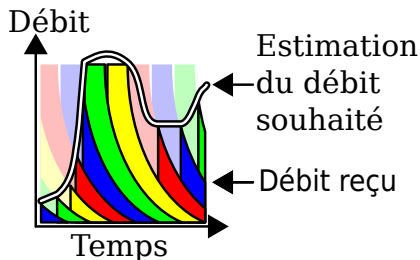
3) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX DYNAMIQUES

- Un récepteur réduit son débit en patientant (pas de signalisation nécessaire).

SOURCE



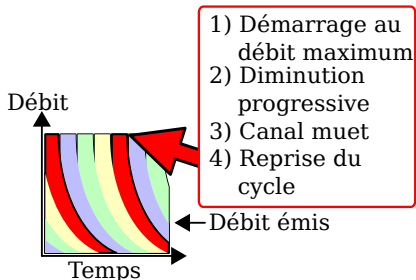
RÉCEPTEUR



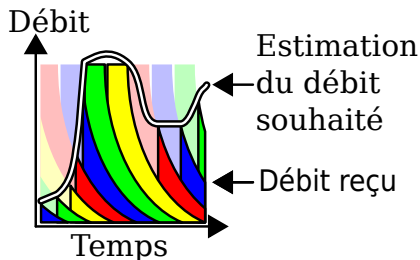
3) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX DYNAMIQUES

- Un récepteur réduit son débit en patientant (pas de signalisation nécessaire).

SOURCE



RÉCEPTEUR

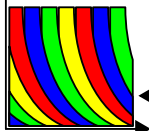


3) CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST À CANAUX DYNAMIQUES

- Un récepteur réduit son débit en patientant (pas de signalisation nécessaire).

SOURCE

Débit



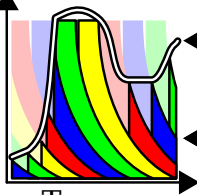
- 1) Démarrage au débit maximum
- 2) Diminution progressive
- 3) Canal muet
- 4) Reprise du cycle

← Débit émis

Temps

RÉCEPTEUR

Débit

← Estimation
du débit
souhaité

← Débit reçu

Temps

CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE AVEC TCP

WEBRC est un protocole de contrôle de congestion multicast :

- Utilisant des canaux dynamiques.
- Le plus abouti concernant le partage équitable de la bande passante.

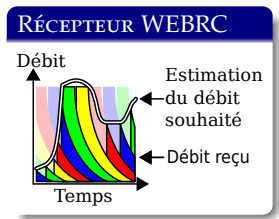
CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE AVEC TCP

WEBRC est un protocole de contrôle de congestion multicast :

- Utilisant des canaux dynamiques.
- Le plus abouti concernant le partage équitable de la bande passante.

Le récepteur de WEBRC estime le débit équitable selon l'équation du débit de TCP calculée en fonction :

- du taux de pertes
- et du RTT.



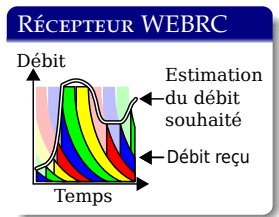
CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE AVEC TCP

WEBRC est un protocole de contrôle de congestion multicast :

- Utilisant des canaux dynamiques.
- Le plus abouti concernant le partage équitable de la bande passante.

Le récepteur de WEBRC estime le débit équitable selon l'équation du débit de TCP calculée en fonction :

- du taux de pertes
- et du RTT.



Comme les récepteurs n'envoient pas de messages à la source :

- il n'y a pas de RTT
- et WEBRC approxime le RTT par une moyenne du temps d'abonnement.

<i>Évolution du contrôle de congestion pour le multicast</i>		
Famille	Avantages	Inconvénients
1) À DÉBIT UNIQUE	Simple et fiable.	Débit limité au récepteur de plus faible débit.
2) À CANAUX STATIQUES	Chaque récepteur contrôle son débit.	Latence du désabonnement. Pas de RTT.
3) À CANAUX DYNAMIQUES	Diminution automatique du débit.	Pas de RTT.

<i>Évolution du contrôle de congestion pour le multicast</i>		
Famille	Avantages	Inconvénients
1) À DÉBIT UNIQUE	Simple et fiable.	Débit limité au récepteur de plus faible débit.
2) À CANAUX STATIQUES	Chaque récepteur contrôle son débit.	Latence du désabonnement. Pas de RTT.
3) À CANAUX DYNAMIQUES	Diminution automatique du débit.	Pas de RTT.

WEBRC est le contrôle de congestion multicast le plus abouti :

- Utilise les canaux dynamiques.
- Propose une estimation du débit équitable.

Évolution du contrôle de congestion pour le multicast

Famille	Avantages	Inconvénients
1) À DÉBIT UNIQUE	Simple et fiable.	Débit limité au récepteur de plus faible débit.
2) À CANAUX STATIQUES	Chaque récepteur contrôle son débit.	Latence du désabonnement. Pas de RTT.
3) À CANAUX DYNAMIQUES	Diminution automatique du débit.	Pas de RTT.

WEBRC est le contrôle de congestion multicast le plus abouti :

- Utilise les canaux dynamiques.
- Propose une estimation du débit équitable.

Cependant, WEBRC :

- N'a été évalué que par simulations.
- Nécessite d'être évalué par **expérimentations**.
- Est sujet à des limitations, ce qui nécessite de **proposer une solution** : le protocole M2C.

CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE POUR LE MULTICAST ET INTERFACE AVEC LE NIVEAU APPLICATIF

1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Communications de groupe

Contrôle de congestion

2. CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Méthodes d'évaluation

Le protocole M2C

3. ORGANISATION DES DONNÉES

Interface avec l'application

Utilisation par l'application

4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Perspectives

CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Méthodes d'évaluation

Mise en place d'une méthode d'évaluation des protocoles de congestion multicast :

- Définition de métriques.
- Définition de scénarii.
- Choix de réaliser :

DES SIMULATIONS

Introduisent des simplifications de la réalité :

Par exemple, hypothèse sur le temps d'adhésion.

DES EXPÉRIMENTATIONS

Nécessitent la création :

- D'une implémentation de protocoles existants dont WEBRC :
<http://svnet.unistra.fr/mcc/>
- De plateformes d'expérimentations.

Définition de métriques :

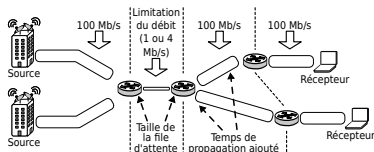
- taux d'utilisation de la bande passante -
"BandWidth Usage (BWU)",
- pourcentage de pertes -
"Loss Rate (LR)",
- partage équitable de la bande passante (indice de Jain) -
"Fairness (F)",
- temps de convergence -
"Convergence Time (CT)",
- et le surcoût de signalisation -
"Signaling Overhead (SO)".

Définition de scenarii :

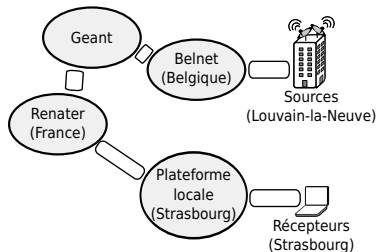
- 1 flux multicast face à 1 flux TCP,
- 1 flux multicast face à N flux TCP,
- M flux multicast face à N flux TCP,
- Trafic en bruit de fond,
- RTT hétérogènes,
- temps de convergence,
- liens faibles multiples,
- variation du nombre de flux concurrents,

- Création de plateformes d'expérimentations :
 - plateforme locale dédiée,
 - plateforme utilisant le réseau de production entre :
 - Strasbourg (France) et Trondheim (Norvège)
 - Strasbourg (France) et Louvain-la-Neuve (Belgique)
- Ces plateformes permettent de contrôler :
 - les débits du lien faible,
 - les tailles des files d'attente
 - et le temps de propagation ajouté.

PLATEFORME LOCALE

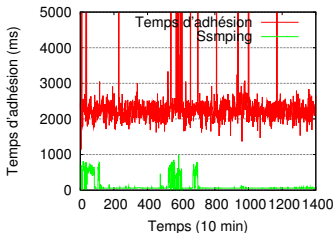


PLATEFORME STRASBOURG-LOUVAIN

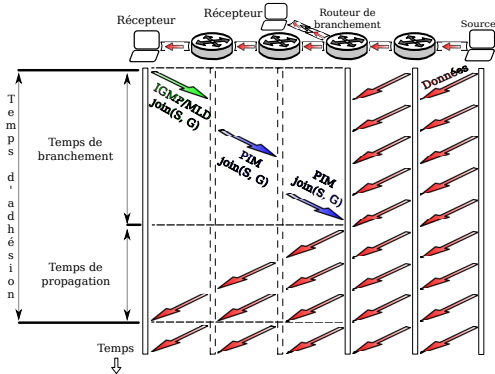


Mesures du temps d'adhésion sur la plateforme Strasbourg-Trondheim :

MESURES DU TEMPS D'ADHÉSION

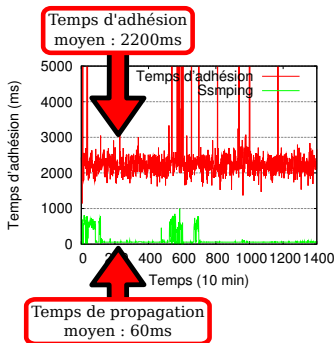


DESCRIPTION DU TEMPS D'ADHÉSION

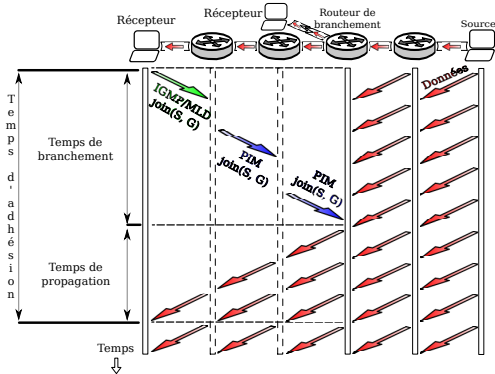


Mesures du temps d'adhésion sur la plateforme Strasbourg-Trondheim :

MESURES DU TEMPS D'ADHÉSION



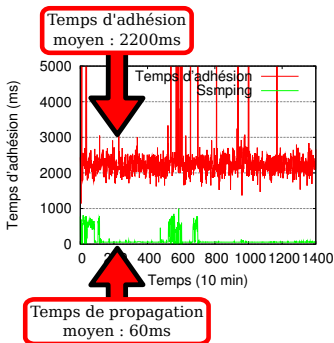
DESCRIPTION DU TEMPS D'ADHÉSION



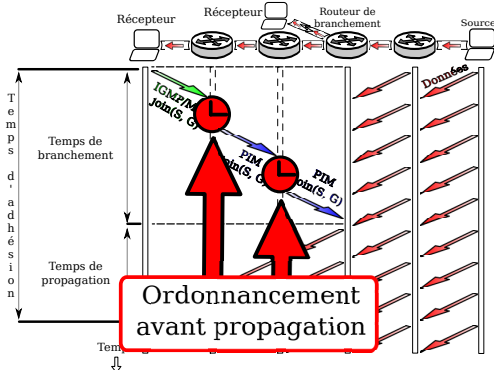
- Temps d'adhésion, "Join Time (JT)", plus de **20 fois** > au RTT.

Mesures du temps d'adhésion sur la plateforme Strasbourg-Trondheim :

MESURES DU TEMPS D'ADHÉSION



DESCRIPTION DU TEMPS D'ADHÉSION

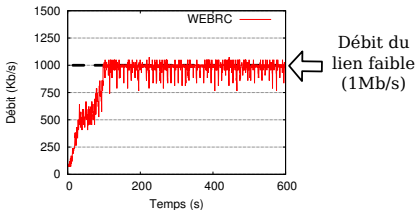


- Temps d'adhésion, "Join Time (JT)", plus de **20 fois** > au RTT.
- Phénomène lié à l'**ordonnancement la signalisation multicast** au sein des routeurs.

Influence du temps d'adhésion sur WEBRC.

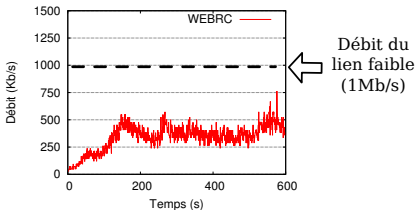
RÉSULTATS PLATEFORME

LOCALE

 $(JT \simeq RTT)$ 

RÉSULTATS PLATEFORME

STRASBOURG-TRONDHEIM

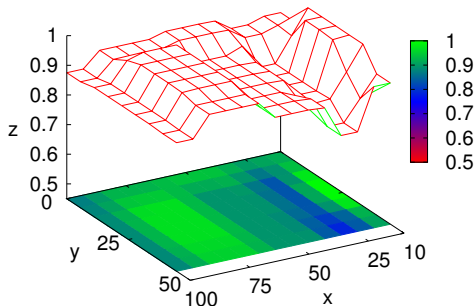
 $(JT \geq RTT)$ 

- WEBRC utilise le temps d'adhésion comme approximation du RTT afin de calculer le débit équitable.
- Induit WEBRC à **sous-estimer le débit équitable**.

Équité de WEBRC :

- Plateforme locale (JT \simeq RTT).

1 FLUX WEBRC FACE À 1 FLUX TCP : LIEN FAIBLE À 1Mb/s



x : File d'attente (# de paquets),
 y : Délai ajouté (en ms),
 z : Équité (F).

- WEBRC est équitable mais n'est pas robuste :

$$F = 0.90(\pm 0.23).$$

Évaluation de WEBRC :

- La latence du temps d'adhésion induit WEBRC à sous-estimer le débit équitable.

Évaluation de WEBRC :

- La latence du temps d'adhésion induit WEBRC à sous-estimer le débit équitable.
- Même sans le problème du temps d'adhésion :
 - WEBRC est équitable mais pas de façon robuste.
 - Des tests complémentaires montrent que l'équité de WEBRC est dégradée par le nombre et la dynamique des flux concurrents.

Évaluation de WEBRC :

- La latence du temps d'adhésion induit WEBRC à sous-estimer le débit équitable.
- Même sans le problème du temps d'adhésion :
 - WEBRC est équitable mais pas de façon robuste.
 - Des tests complémentaires montrent que l'équité de WEBRC est dégradée par le nombre et la dynamique des flux concurrents.

Conclusion :

- Il est nécessaire de créer un protocole **équitable avec TCP**.

CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Le protocole M2C

M2C est un protocole de contrôle de congestion créé pour :

- Supporter le passage à très grande échelle :
Utilisation et amélioration de la **source de WEBRC**.

M2C est un protocole de contrôle de congestion créé pour :

- Supporter le passage à très grande échelle :
Utilisation et amélioration de la **source de WEBRC**.
- Prise en compte du temps d'adhésion :
Estimation du RTT se basant sur le **temps source-récepteurs des paquets de données** :
 - Nécessite une synchronisation des horloges de la source et des récepteurs (par exemple par NTP ou GPS).
 - Ajout de la date d'émission du paquet dans l'entête du protocole.

M2C est un protocole de contrôle de congestion créé pour :

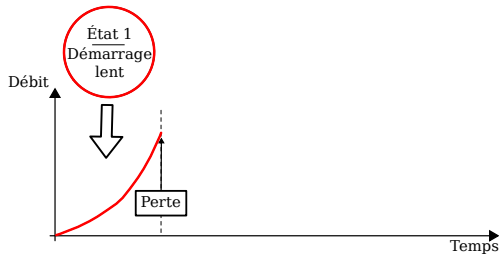
- Supporter le passage à très grande échelle :
Utilisation et amélioration de la **source de WEBRC**.
- Prise en compte du temps d'adhésion :
Estimation du RTT se basant sur le **temps source-récepteurs des paquets de données** :
 - Nécessite une synchronisation des horloges de la source et des récepteurs (par exemple par NTP ou GPS).
 - Ajout de la date d'émission du paquet dans l'entête du protocole.
- Équitable avec TCP :
Adaptation côté récepteur du **mécanisme de fenêtre de congestion de TCP**.

Mécanisme de fenêtre de congestion côté récepteur :

DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV1

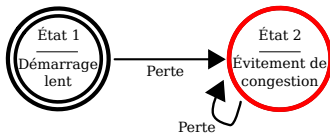


PRINCIPE DE L'ESTIMATION DU DÉBIT ÉQUITABLE DE M2CV1

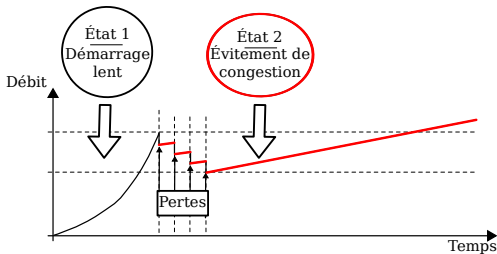


Mécanisme de fenêtre de congestion côté récepteur :

DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV1



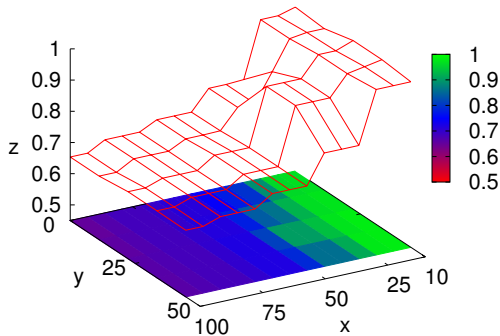
PRINCIPE DE L'ESTIMATION DU DÉBIT ÉQUITABLE DE M2CV1



Équité de M2Cv1 :

- Plateforme locale (JT \simeq RTT).

1 FLUX M2CV1 FACE À 1 FLUX TCP : LIEN FAIBLE À 1MB/S



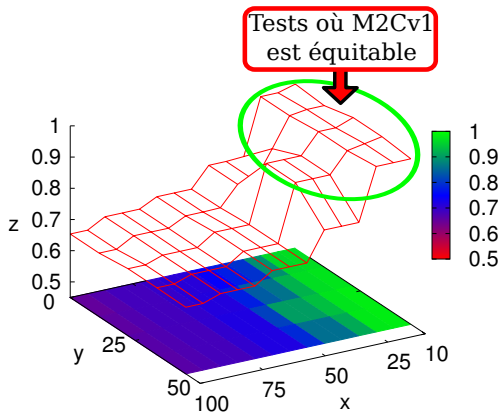
x : File d'attente (# de paquets),
 y : Délai ajouté (en ms),
 z : Équité (F).

- ~~Problème d'équité dû à la convergence extrêmement lente de~~

Équité de M2Cv1 :

- Plateforme locale (JT \simeq RTT).

1 FLUX M2CV1 FACE À 1 FLUX TCP : LIEN FAIBLE À 1Mb/s



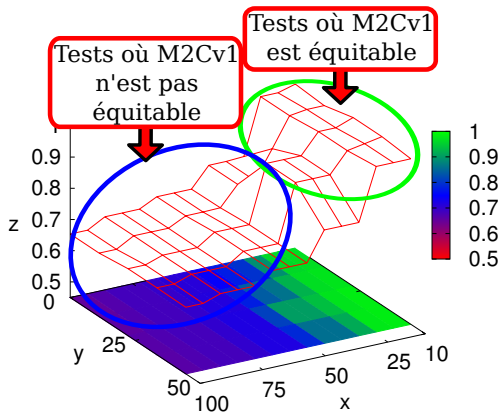
x : File d'attente (# de paquets),
y : Délai ajouté (en ms),
z : Équité (F).

~~• Problème d'équité dû à la convergence extrêmement lente de~~

Équité de M2Cv1 :

- Plateforme locale (JT \simeq RTT).

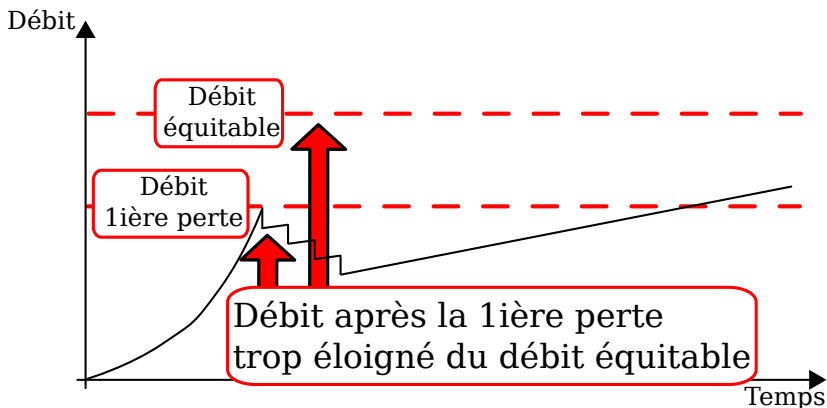
1 FLUX M2Cv1 FACE À 1 FLUX TCP : LIEN FAIBLE À 1Mb/s



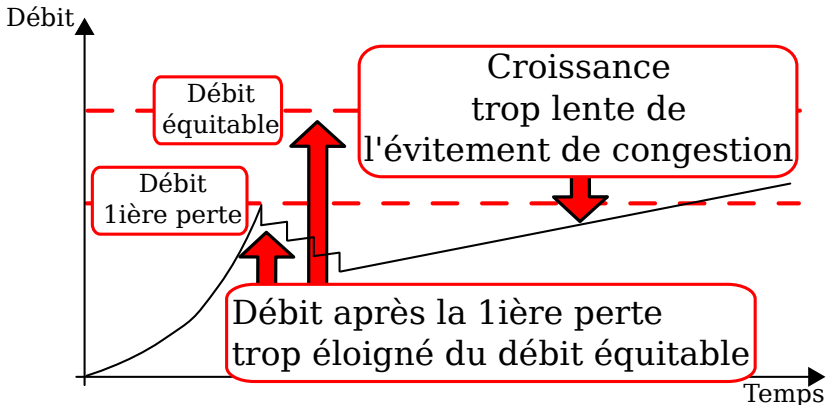
x : File d'attente (# de paquets),
 y : Délai ajouté (en ms),
 z : Équité (F).

- ~~Problème d'équité dû à la convergence extrêmement lente de~~

M2CV1 PROBLÈME DE CONVERGENCE



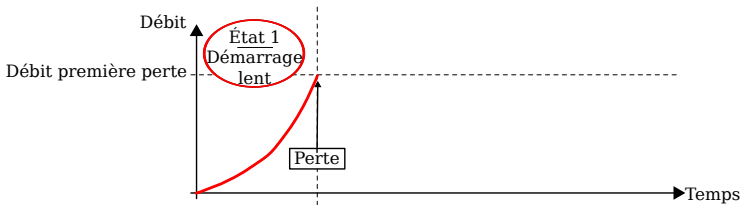
M2CV1 PROBLÈME DE CONVERGENCE



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

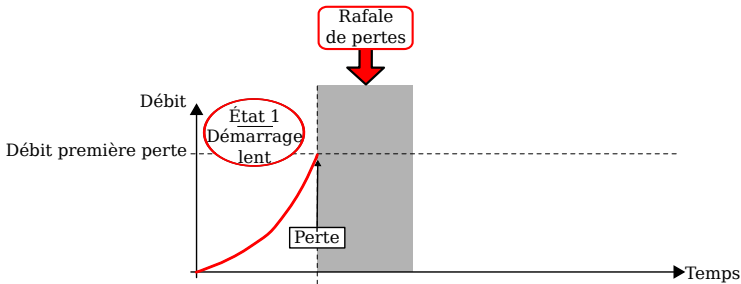
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV2



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

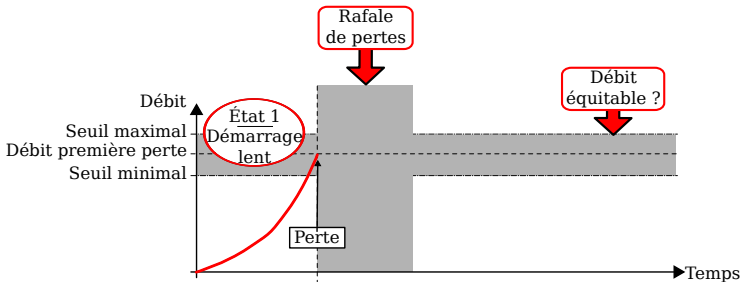
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV2



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

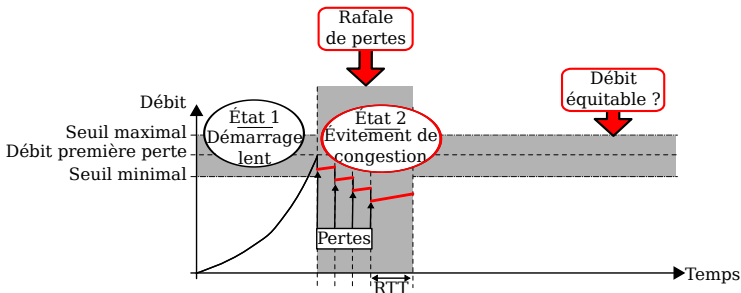
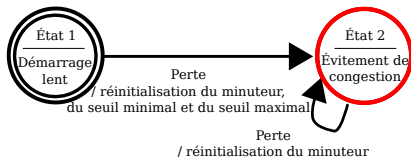
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV2



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

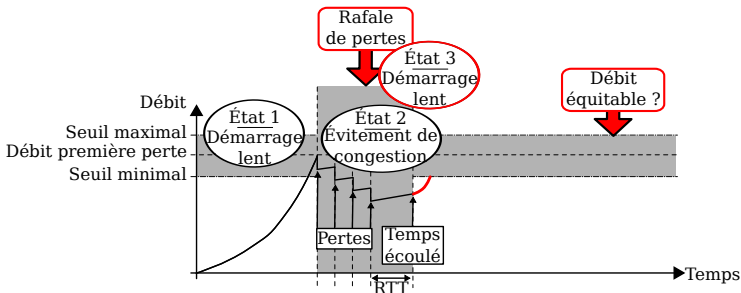
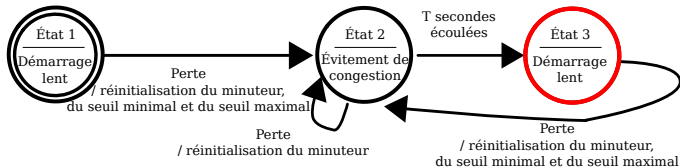
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV2



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

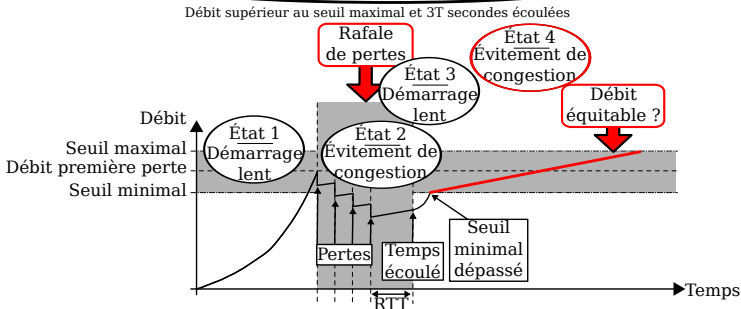
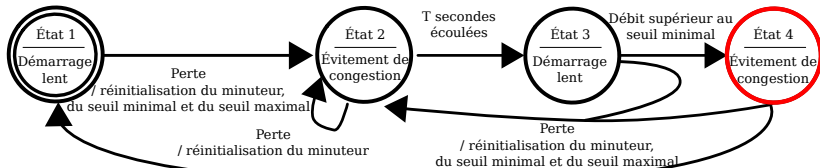
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2Cv2



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

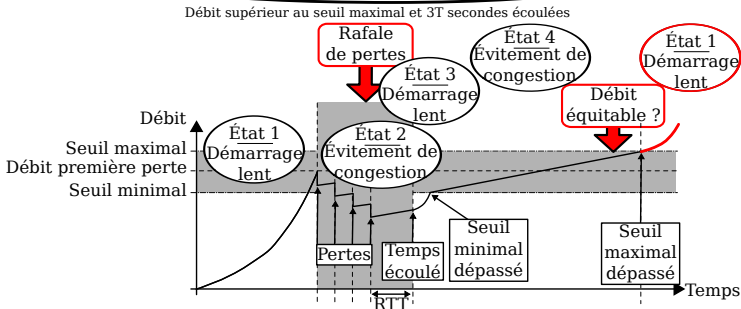
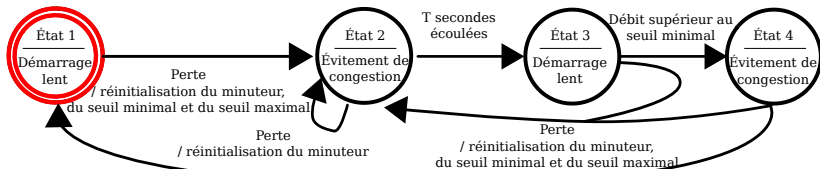
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2Cv2



Ajout d'un mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Dès qu'il est peu probable de subir une nouvelle perte.

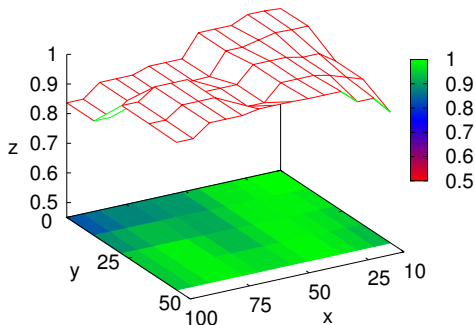
DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2Cv2



Équité de M2Cv2 :

- Plateforme locale (JT \simeq RTT).

1 FLUX M2CV2 FACE À 1 FLUX TCP : LIEN FAIBLE À 1MB/S



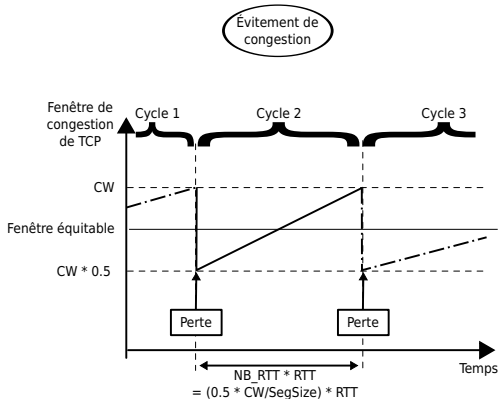
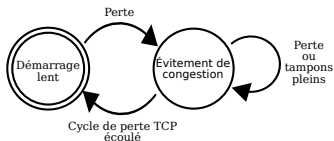
x : File d'attente (# de paquets),
y : Délai ajouté (en ms),
z : Équité (F).

- Amélioration (insuffisante) du temps de convergence.
- Marge de sécurité pour revenir en Slow-Start trop importante.

Amélioration du mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Estimation du cycle de pertes de TCP.

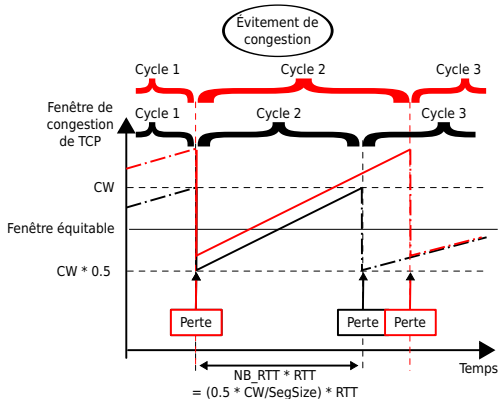
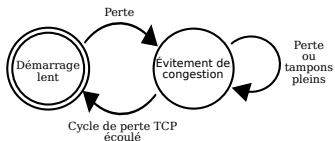
ESTIMATION DU CYCLE DE PERTE DE TCP

DIAGRAMME
ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV3


Amélioration du mécanisme de reprise du Slow-Start :

- Estimation du cycle de pertes de TCP.

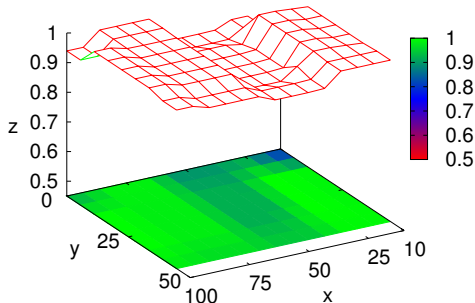
ESTIMATION DU CYCLE DE PERTE DE TCP

DIAGRAMME
ÉTATS-TRANSITIONS DE M2CV3

Équité de M2Cv3 :

- Plateforme locale (JT \simeq RTT).

1 FLUX M2CV3 FACE À 1 FLUX TCP : LIEN FAIBLE À 1MB/S



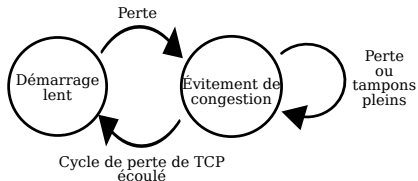
x : File d'attente (# de paquets),
y : Délai ajouté (en ms),
z : Équité (F).

- Équitable et robuste : $F = 0.97 (\pm 0.08)$.

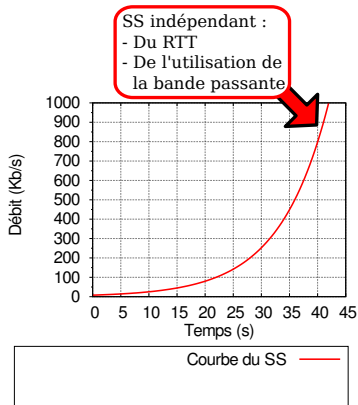
Amélioration du temps de convergence au démarrage :

- Ajout d'un mécanisme de démarrage rapide : Fast-Start (FS).
- Permet d'acquérir la bande passante inutilisée.

DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2Cv3



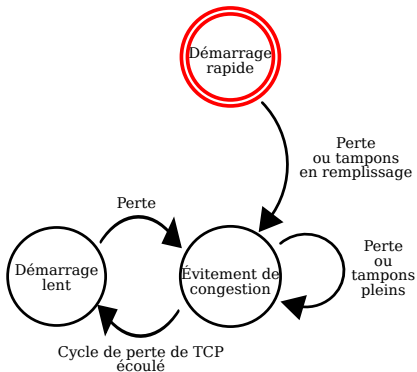
DÉBIT EN SLOW-START ET FAST-START



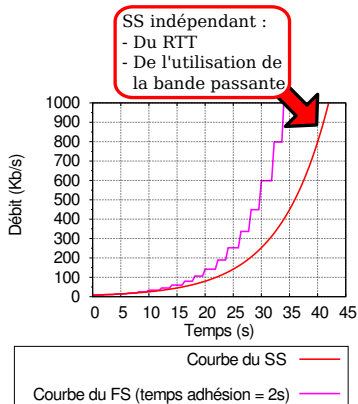
Amélioration du temps de convergence au démarrage :

- Ajout d'un mécanisme de démarrage rapide : Fast-Start (FS).
- Permet d'acquérir la bande passante inutilisée.

DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2Cv4



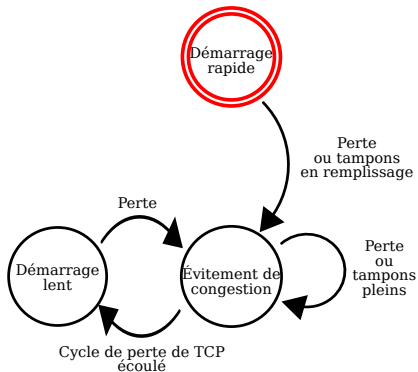
DÉBIT EN SLOW-START ET FAST-START



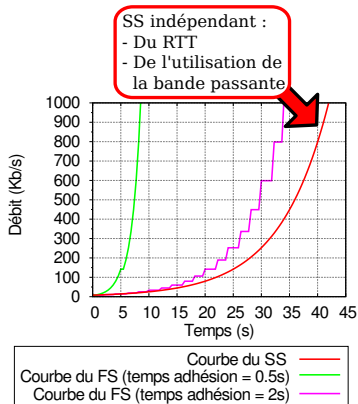
Amélioration du temps de convergence au démarrage :

- Ajout d'un mécanisme de démarrage rapide : Fast-Start (FS).
- Permet d'acquérir la bande passante inutilisée.

DIAGRAMME ÉTATS-TRANSITIONS DE M2Cv4

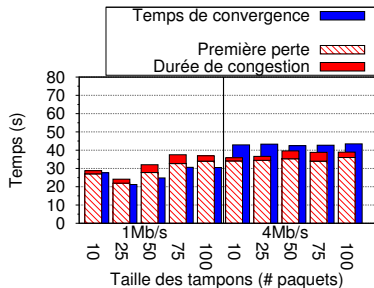


DÉBIT EN SLOW-START ET FAST-START

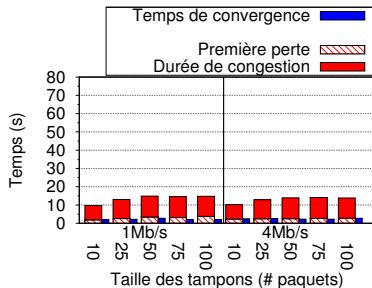


Résultats du temps de convergence pour 1 flux M2Cv4 (local)

SANS FAST-START



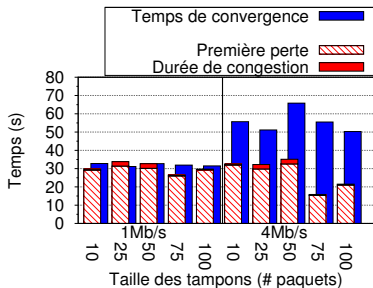
AVEC FAST-START



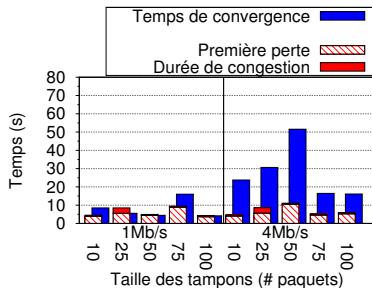
- Réduction sensible du temps de convergence.
- Première congestion plus importante, mais maîtrisée.

Résultats du temps de convergence pour 1 flux M2Cv4 (Strasbourg-Louvain)

SANS FAST-START

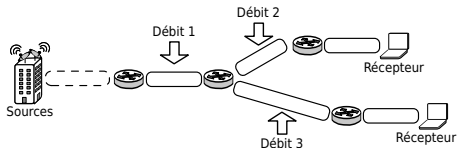


AVEC FAST-START



- Réduction du temps de convergence sauf en cas de bande passante déjà saturée.

SCÉNARIO AVEC DES LIENS FAIBLES MULTIPLES



	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8
Débit 1 (Mb/s)	1	1	1	1	4	4	4	4
Débit 2 (Mb/s)	8	8	0.25	0.75	8	8	1	3
Débit 3 (Mb/s)	0.25	0.75	8	8	1	3	8	8

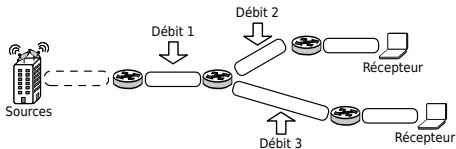
RÉSULTATS AVEC WEBRC

Test	<i>BWU</i>	<i>LR (%)</i>	<i>F</i>
Plateforme locale			
2 * WEBRC	0.86 (±0.14)	1.01 (±1.33)	0.92 (±0.27)
1 * WEBRC / 1 * TCP	0.95 (±0.08)	1.18 (±4.5)	0.93 (±0.19)
Plateforme Strasbourg-Louvain			
2 * WEBRC	0.83 (±0.11)	0.75 (±1.29)	0.95 (±0.24)
1 * WEBRC / 1 * TCP	0.87 (±0.65)	0.62 (±2.14)	0.88 (±0.38)

RÉSULTATS AVEC M2Cv4

Test	<i>BWU</i>	<i>LR (%)</i>	<i>F</i>
Plateforme locale			
2 * M2Cv4	0.98 (±0.02)	4.91 (±3.45)	0.98 (±0.05)
1 * M2Cv4 / 1 * TCP	0.99 (±0.01)	2.84 (±7.0)	0.96 (±0.12)
Plateforme Strasbourg-Louvain			
2 * M2Cv4	0.97 (±0.02)	3.5 (±3.81)	1.0 (±0.02)
1 * M2Cv4 / 1 * TCP	0.98 (±0.02)	1.8 (±3.41)	0.98 (±0.05)

SCÉNARIO AVEC DES LIENS FAIBLES MULTIPLES



	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8
Débit 1 (Mb/s)	1	1	1	1	4	4	4	4
Débit 2 (Mb/s)	8	8	0.25	0.75	8	8	1	3
Débit 3 (Mb/s)	0.25	0.75	8	8	1	3	8	8

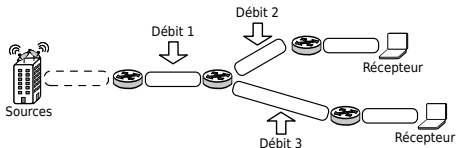
RÉSULTATS AVEC WEBRC

Test	BWU	LR (%)	F
Plateforme locale			
2 * WEBRC	0.86 (±0.14)	1.01 (±1.33)	0.92 (±0.27)
1 * WEBRC / 1 * TCP	0.95 (±0.08)	1.18 (±4.5)	0.93 (±0.19)
Plateforme Strasbourg-Louvain			
2 * WEBRC	0.83 (±0.11)	0.75 (±1.29)	0.95 (±0.24)
1 * WEBRC / 1 * TCP	0.87 (±0.65)	0.62 (±2.14)	0.88 (±0.38)

RÉSULTATS AVEC M2Cv4

Test	BWU	LR (%)	F
Plateforme locale			
2 * M2Cv4	0.98 (±0.02)	4.91 (±3.45)	0.98 (±0.05)
1 * M2Cv4 / 1 * TCP	0.99 (±0.01)	2.84 (±7.0)	0.96 (±0.12)
Plateforme Strasbourg-Louvain			
2 * M2Cv4	0.97 (±0.02)	3.5 (±3.81)	1.0 (±0.02)
1 * M2Cv4 / 1 * TCP	0.98 (±0.02)	1.8 (±3.41)	0.98 (±0.05)

SCÉNARIO AVEC DES LIENS FAIBLES MULTIPLES



	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8
Débit 1 (Mb/s)	1	1	1	1	4	4	4	4
Débit 2 (Mb/s)	8	8	0.25	0.75	8	8	1	3
Débit 3 (Mb/s)	0.25	0.75	8	8	1	3	8	8

RÉSULTATS AVEC WEBRC

Test	BWU	LR (%)	F
Plateforme locale			
2 * WEBRC	0.86 (±0.14)	1.01 (±1.33)	0.92 (±0.27)
1 * WEBRC / 1 * TCP	0.95 (±0.08)	1.18 (±4.5)	0.93 (±0.19)
Plateforme Strasbourg-Louvain			
2 * WEBRC	0.83 (±0.11)	0.75 (±1.29)	0.95 (±0.24)
1 * WEBRC / 1 * TCP	0.87 (±0.65)	0.62 (±2.14)	0.88 (±0.38)

RÉSULTATS AVEC M2Cv4

Test	BWU	LR (%)	F
Plateforme locale			
2 * M2Cv4	0.98 (±0.02)	4.91 (±3.45)	0.98 (±0.05)
1 * M2Cv4 / 1 * TCP	0.99 (±0.01)	2.84 (±7.0)	0.96 (±0.12)
Plateforme Strasbourg-Louvain			
2 * M2Cv4	0.97 (±0.02)	3.5 (±3.81)	1.0 (±0.02)
1 * M2Cv4 / 1 * TCP	0.98 (±0.02)	1.8 (±3.41)	0.98 (±0.05)

Les expérimentations ont mis en évidence que :

- Le temps d'adhésion n'est pas négligeable et influe sur le contrôle de congestion multicast.
- Même sans le problème du temps d'adhésion : WEBRC n'est pas robuste en terme d'équité.

Les expérimentations ont mis en évidence que :

- Le temps d'adhésion n'est pas négligeable et influe sur le contrôle de congestion multicast.
- Même sans le problème du temps d'adhésion : WEBRC n'est pas robuste en terme d'équité.

Nous avons proposé un protocole de contrôle de congestion (M2C), qui :

- Utilise une source à canaux dynamiques.
- Estime le débit équitable au moyen d'une fenêtre de congestion.
- Prend en compte les spécificités de la signalisation multicast.
- Est **équitable** et **robuste** envers TCP et les autres flux M2C.
- Présente un **faible temps de convergence** vers le débit équitable.

CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE POUR LE MULTICAST ET INTERFACE AVEC LE NIVEAU APPLICATIF

1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Communications de groupe

Contrôle de congestion

2. CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Méthodes d'évaluation

Le protocole M2C

3. ORGANISATION DES DONNÉES

Interface avec l'application

Utilisation par l'application

4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

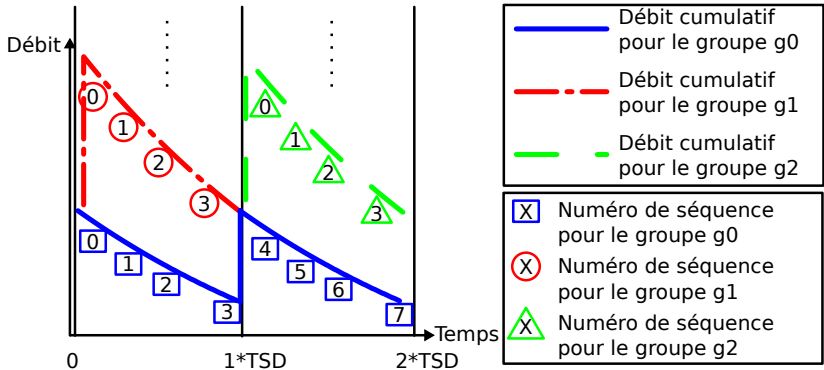
Perspectives

ORGANISATION DES DONNÉES

Interface avec l'application

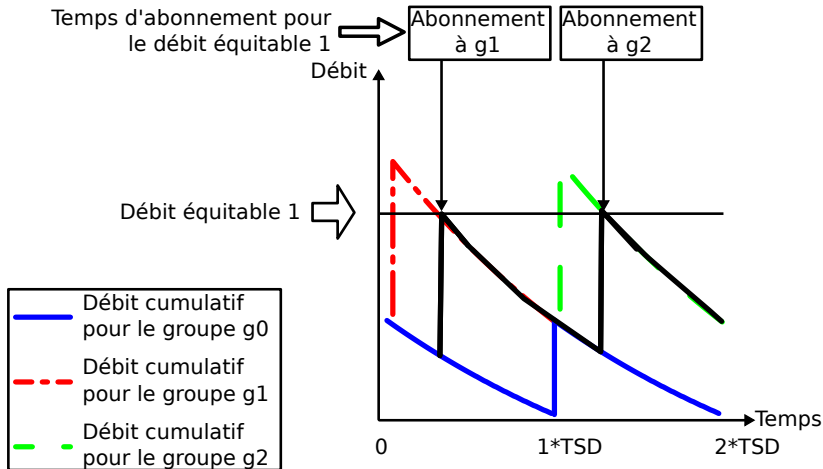
Fonctionnement des canaux dynamiques :

GESTION DES CANAUX DYNAMIQUES



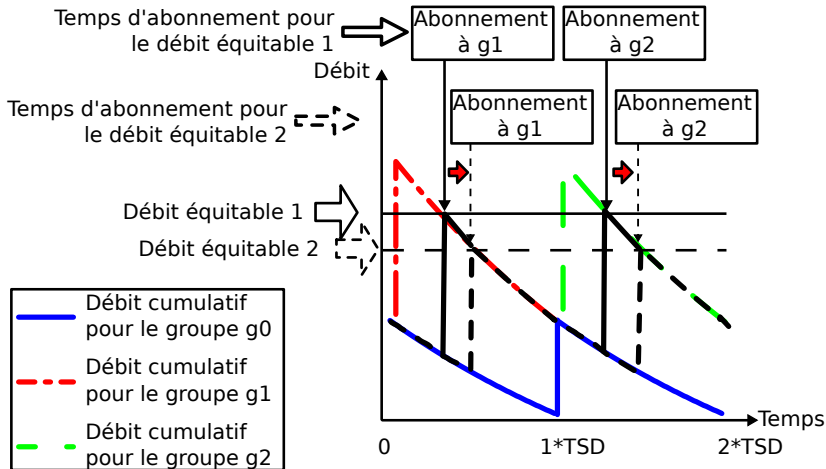
Les récepteurs peuvent souscrire à n'importe quel débit de façon cumulative et hiérarchique :

GESTION DES CANAUX DYNAMIQUES



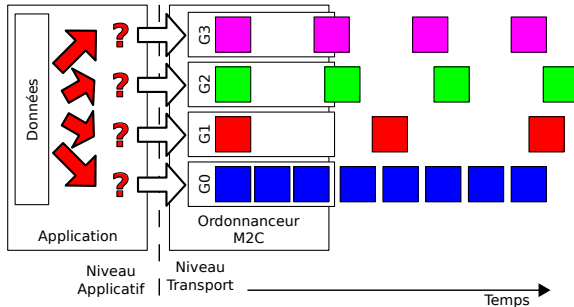
Les récepteurs peuvent souscrire à n'importe quel débit de façon cumulative et hiérarchique :

GESTION DES CANAUX DYNAMIQUES



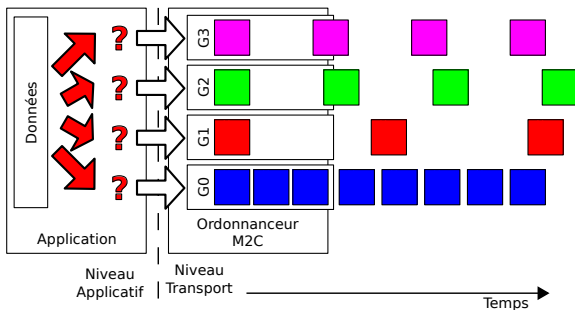
Une application peut-elle utiliser efficacement un protocole à canaux dynamiques ?

INTERFACE AVEC LE NIVEAU TRANSPORT



Une application peut-elle utiliser efficacement un protocole à canaux dynamiques ?

INTERFACE AVEC LE NIVEAU TRANSPORT



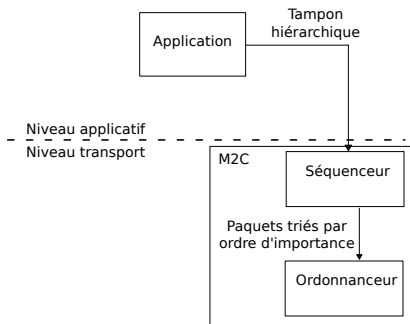
Nous proposons de créer :

- Un séquenceur s'occupant de mettre en correspondance les données applicatives avec les canaux multicast.
- Une API simplifiant l'utilisation du séquenceur.

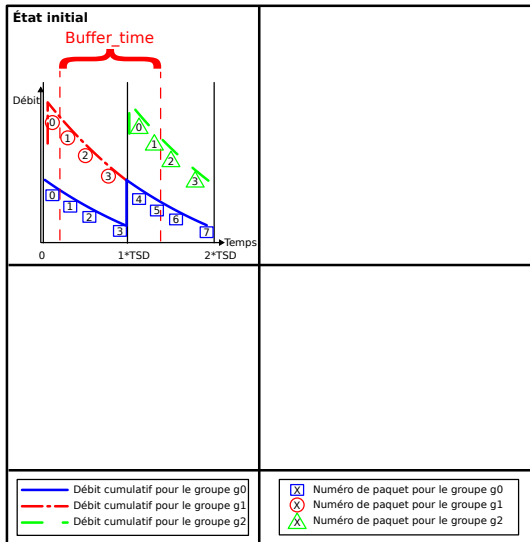
Utilisation de l'API :

- La source fournit un **tampon avec les données les plus importantes en premier** et les moins importantes à la fin.
- Le séquenceur permet à un récepteur qui reçoit **N% du débit de la source** de recevoir les **N % les plus importants des données**.

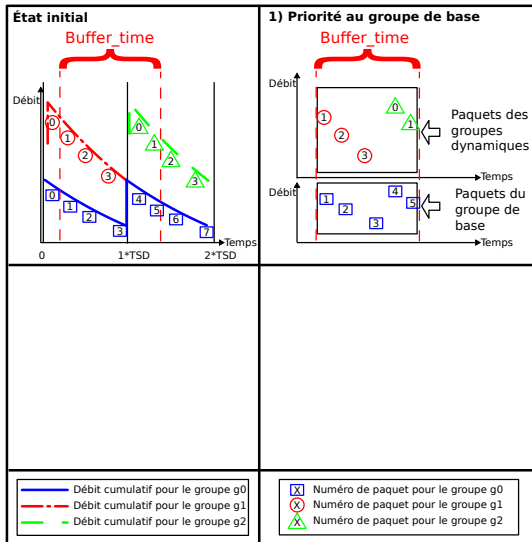
DIAGRAMME DE FLUX D'UN LOGICIEL UTILISANT M2C



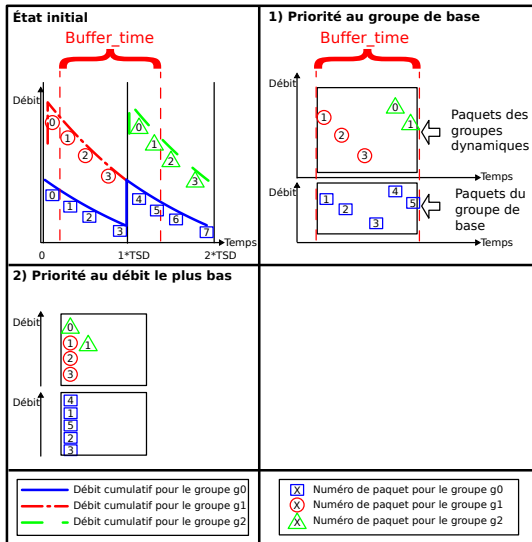
ALGORITHME DU SÉQUENCEUR



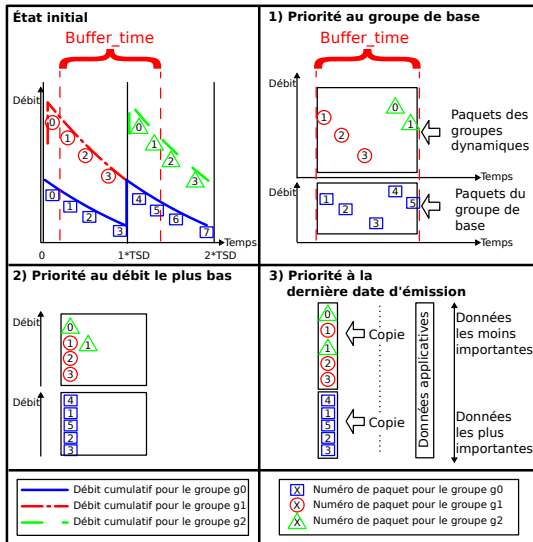
ALGORITHME DU SÉQUENCEUR



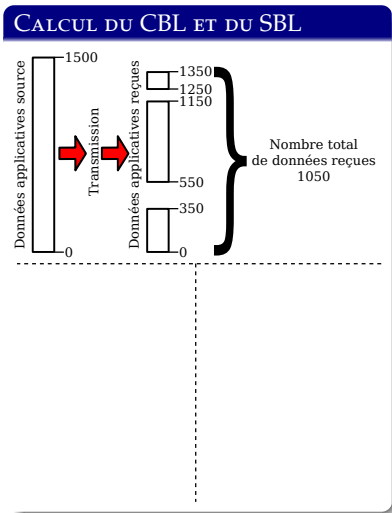
ALGORITHME DU SÉQUENCEUR



ALGORITHME DU SÉQUENCEUR



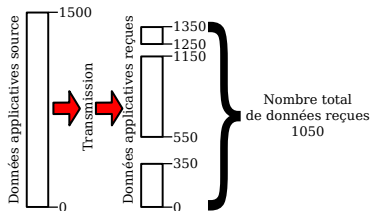
Critères d'évaluations :



Critères d'évaluations :

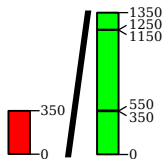
- *Continuous Buffer Length (CBL)* : le nombre de données contiguës reçues.
Représente le pourcentage de données reçues jusqu'à la première perte.

CALCUL DU CBL ET DU SBL



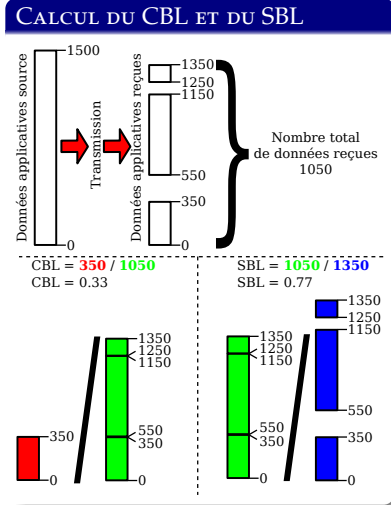
$$\text{CBL} = 350 / 1050$$

$$\text{CBL} = 0.33$$

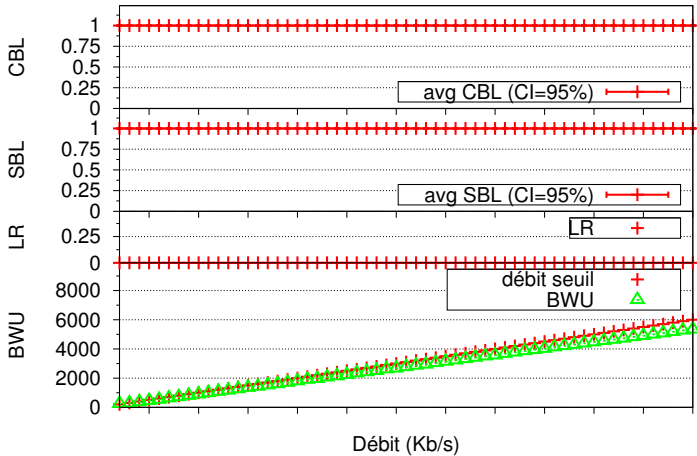


Critères d'évaluations :

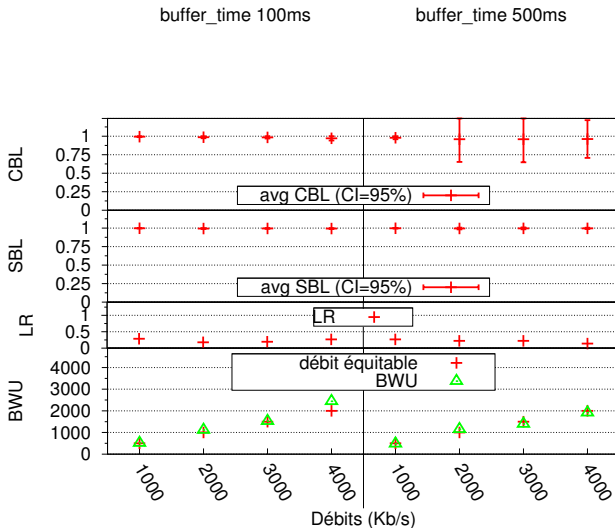
- *Continuous Buffer Length (CBL)* : le nombre de données contiguës reçues.
Représente le pourcentage de données reçues jusqu'à la première perte.
- *Sparse Buffer Length (SBL)* : le nombre de données éparses reçues.
Représente l'importance des données reçues.



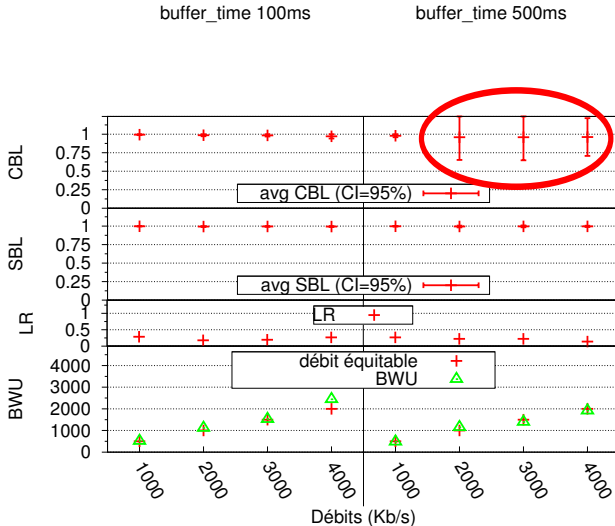
RÉSULTATS PAR EXPÉRIMENTATION SANS PERTES



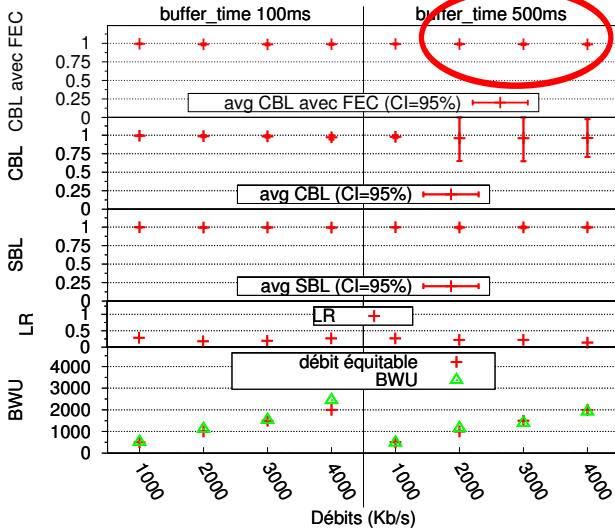
RÉSULTATS PAR EXPÉRIMENTATIONS AVEC PERTES



RÉSULTATS PAR EXPÉRIMENTATIONS AVEC PERTES



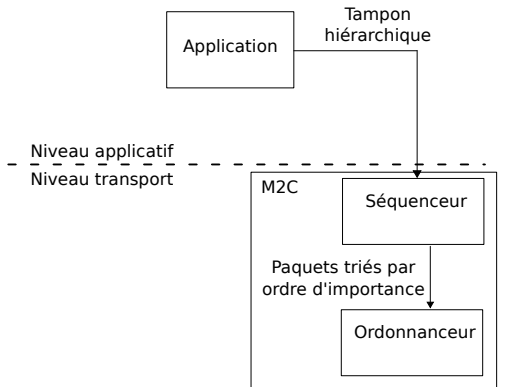
RÉSULTATS PAR EXPÉRIMENTATIONS AVEC PERTES



ORGANISATION DES DONNÉES

Utilisation par l'application

CAS GÉNÉRIQUE



Peut-on créer une hiérarchie de données pour tout type d'application ?

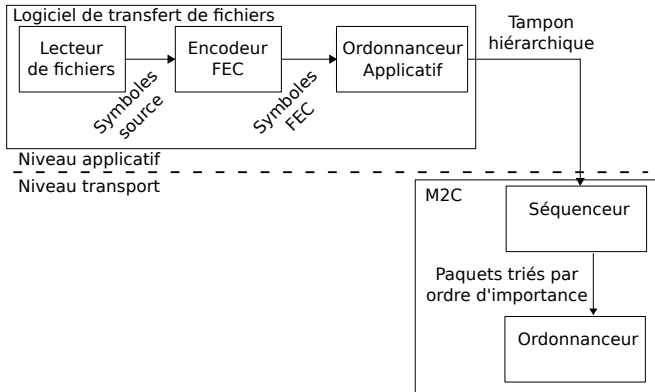
Exemples d'applications :

- Transfert de fichiers.
- Diffusion de vidéos :
 - en différé,
 - en temps réel.

Transfert de fichiers en multicast :

- Une source qui émet en boucle (carrousel).
- Des récepteurs qui :
 - Commencent le téléchargement à n'importe quel moment.
 - Téléchargent plus ou moins rapidement en fonction du débit reçu.

DIAGRAMME DE FLUX DU TRANSFERT DE FICHIERS



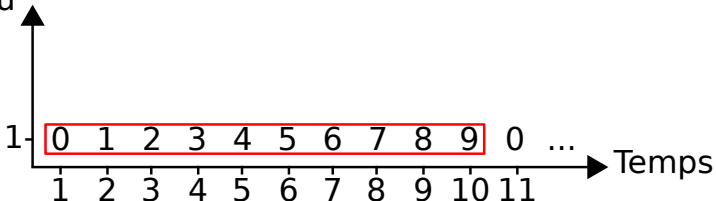
Hiérarchie des données en fonction de leur prochaine/dernière diffusion.

CRÉATION DES TAMPONS HIÉRARCHIQUES

Symboles composant le fichier :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Niveau



Hiérarchie des données en fonction de leur prochaine/dernière diffusion.

CRÉATION DES TAMPONS HIÉRARCHIQUES

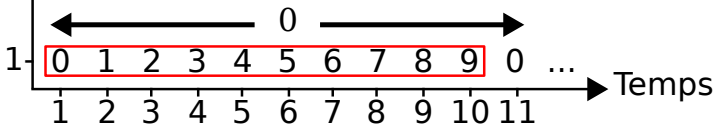
Symboles composant le fichier :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Niveau

Distance :

5	4	3	2	1	0	1	2	3	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



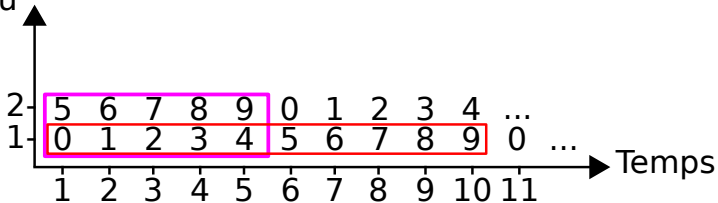
Hiérarchie des données en fonction de leur prochaine/dernière diffusion.

CRÉATION DES TAMPONS HIÉRARCHIQUES

Symboles composant le fichier :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Niveau



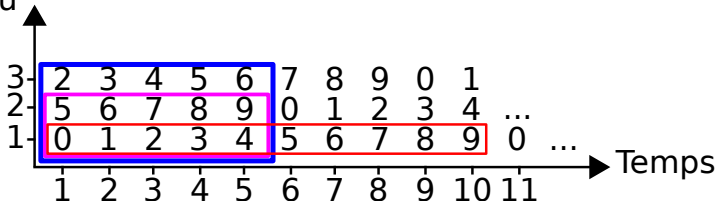
Hiérarchie des données en fonction de leur prochaine/dernière diffusion.

CRÉATION DES TAMPONS HIÉRARCHIQUES

Symboles composant le fichier :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Niveau



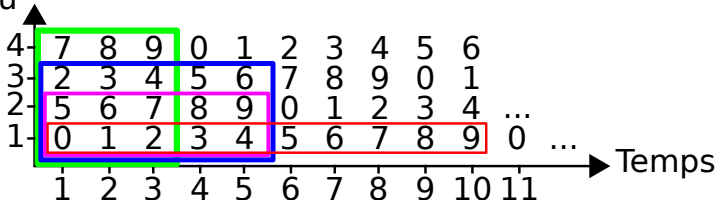
Hiérarchie des données en fonction de leur prochaine/dernière diffusion.

CRÉATION DES TAMPONS HIÉRARCHIQUES

Symboles composant le fichier :

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

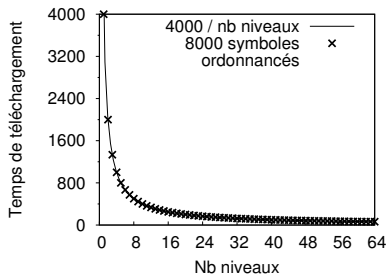
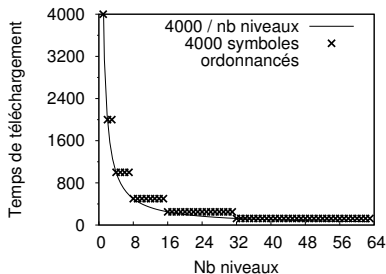
Niveau



Résultat :

- Quand un récepteur double de débit, le temps de téléchargement est divisé par 2.

TRANSFERT DE FICHIERS

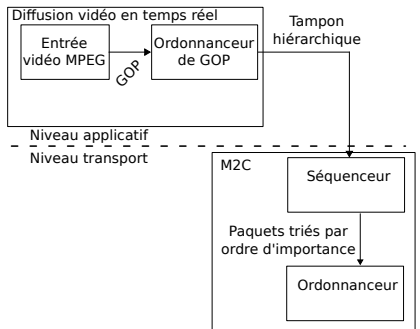


Résultats montrent que ce type de transfert de fichiers est :

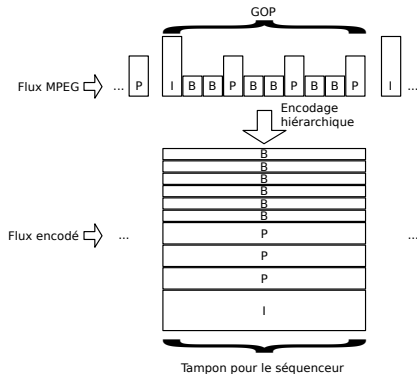
- Plus intéressant que TCP dès 2 récepteurs simultanés.
- Temps de téléchargement presque constant (indépendant du nombre de récepteur).
- Taille du fichier à transférer limitée par la mémoire de l'appareil.

Hiérarchie des données correspondant à l'importance de l'image :

DIAGRAMME DE FLUX DE LA VIDÉO EN DIFFÉRÉ



HIÉRARCHIE CRÉÉE À PARTIR DU FORMAT MPEG



Hiérarchie des données correspondant aux coefficients de chaque image.

EXEMPLE DE RÉOLUTIONS



Image obtenue
avec 1 coefficient

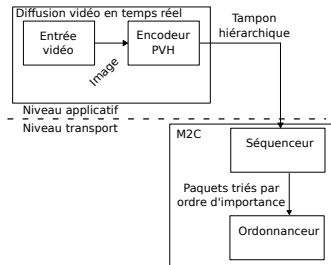


Image obtenue
avec 4 coefficients



Image obtenue
avec 16 coefficients

DIAGRAMME DE FLUX DE LA VIDÉO EN TEMPS-RÉEL



CONTRÔLE DE CONGESTION ÉQUITABLE POUR LE MULTICAST ET INTERFACE AVEC LE NIVEAU APPLICATIF

1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Communications de groupe

Contrôle de congestion

2. CONTRÔLE DE CONGESTION MULTICAST

Méthodes d'évaluation

Le protocole M2C

3. ORGANISATION DES DONNÉES

Interface avec l'application

Utilisation par l'application

4. CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Perspectives

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Cette thèse montre qu'il est possible de créer des applications supportant le **passage à l'échelle**.

Cette thèse montre qu'il est possible de créer des applications supportant le **passage à l'échelle**.

Pour cela, nous avons proposé au niveau contrôle de congestion multicast :

- Une méthodologie d'évaluation,
- Le protocole M2C (conçu, implémenté, expérimenté et validé). M2C est **robuste en terme d'équité** et **converge rapidement** au débit équitable.

Le séquenceur proposé avec son API permettent :

- À l'application source de ne fournir qu'un **tampon hiérarchique** :
 - les données les plus importantes en premier
 - et les moins importantes à la fin.
- À un récepteur qui reçoit **N% du débit de la source** de recevoir les **N % les plus importants des données**.

Le séquenceur proposé avec son API permettent :

- À l'application source de ne fournir qu'un **tampon hiérarchique** :
 - les données les plus importantes en premier
 - et les moins importantes à la fin.
- À un récepteur qui reçoit **N% du débit de la source** de recevoir les **N % les plus importants des données**.

Il est possible de créer un tampon hiérarchique :

- Pour des applications sensibles aux pertes.
Le transfert de fichiers présenté est **plus avantageux que TCP à partir de 2 récepteurs**.
- Pour des applications sensibles aux délais (diffusion de vidéo).

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Perspectives

- Niveau applicatif :
 - Création et évaluation de nouveaux codages vidéos.
 - Problème de la gestion la mémoire lié à l'utilisation des codes FEC.

- Niveau applicatif :
 - Création et évaluation de nouveaux codages vidéos.
 - Problème de la gestion la mémoire lié à l'utilisation des codes FEC.

- Communications sans fil :
 - Influence des pertes des transmissions sans fil pour le contrôle de congestion multicast.
 - Problème de la lenteur d'abonnement pour des usages mobiles.

- Niveau applicatif :
 - Création et évaluation de nouveaux codages vidéos.
 - Problème de la gestion la mémoire lié à l'utilisation des codes FEC.

- Communications sans fil :
 - Influence des pertes des transmissions sans fil pour le contrôle de congestion multicast.
 - Problème de la lenteur d'abonnement pour des usages mobiles.

- Mécanismes de routage :
 - Évolution des messages de la signalisation pour limiter les changements d'états dans les routeurs.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Questions ?
