

Routage dans Internet et théorie des jeux

Chahinez Hamlaoui
chah@prism.uvsq.fr

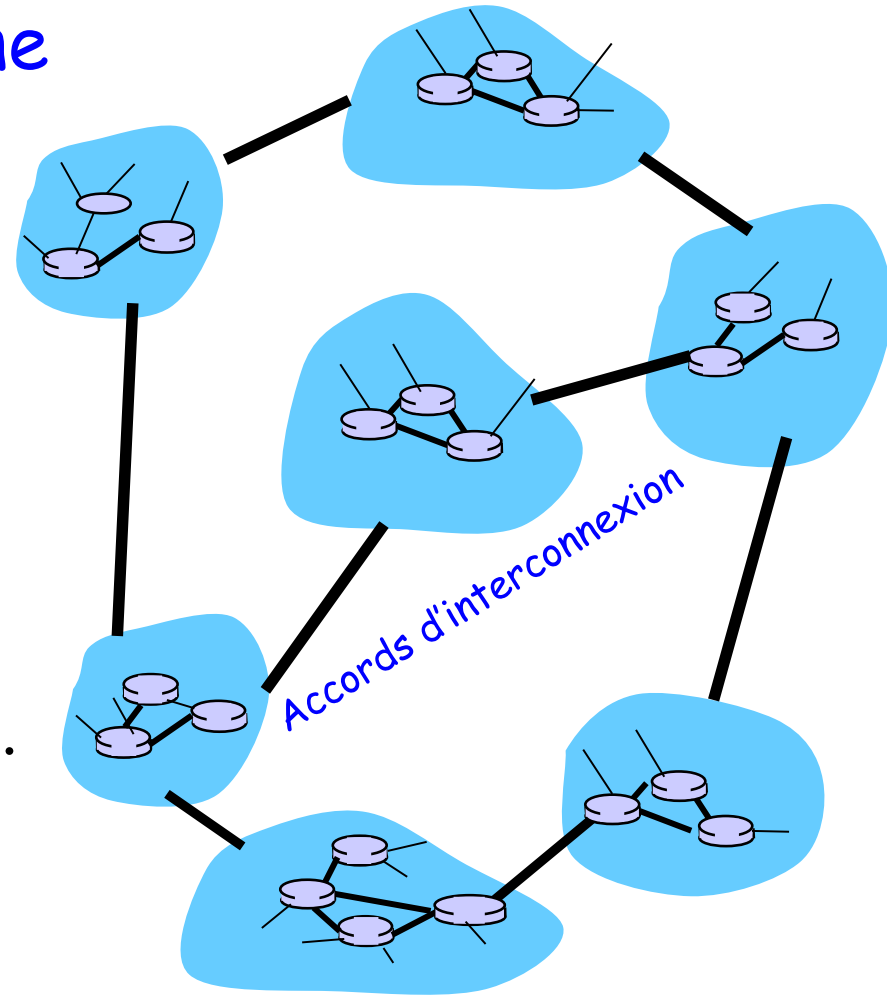
PRiSM Laboratory



Contexte et motivation

Les réseaux de l'interdomaine

- ❑ Réseaux interconnectant les réseaux des opérateurs Internet
- ❑ Modèle de communication distribué
 - Vision locale de la topologie
 - Routage interdomaine (BGP).



Contexte et motivation

L'économie dans l'interdomaine

Réseaux public
(trafic gratuit)

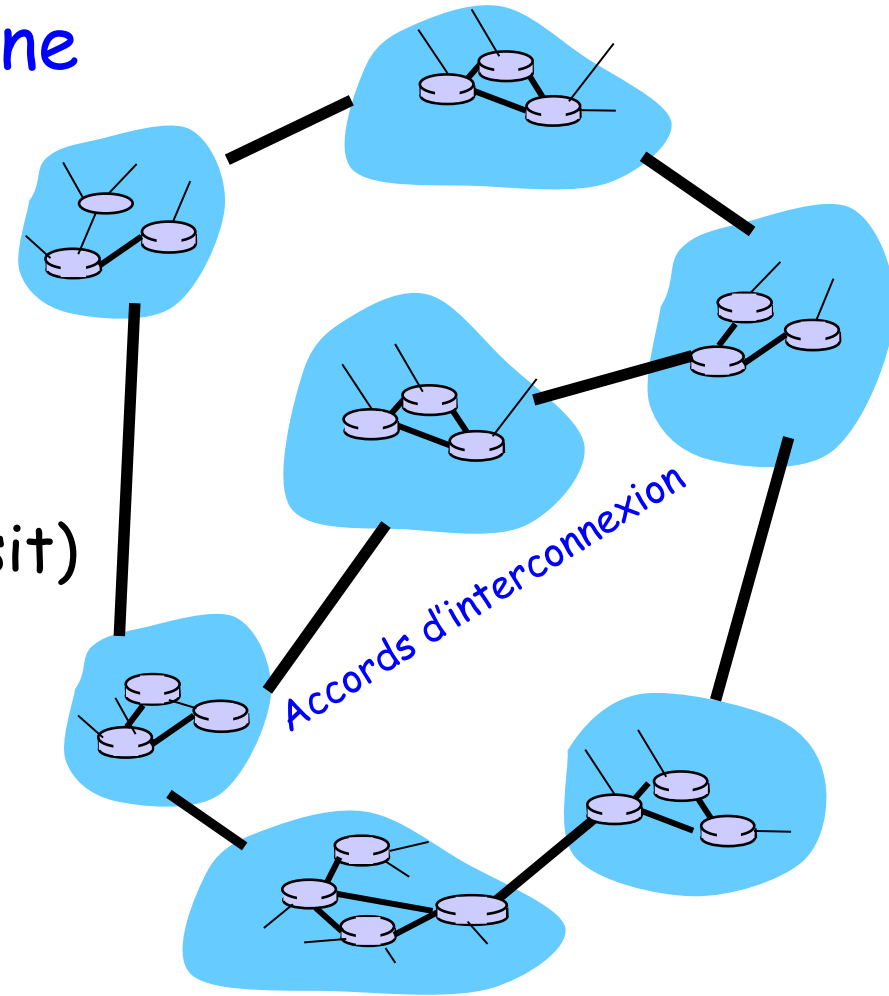


Réseaux privés
(Tarification du service de transit)

Négociation des prix de transit
(accords d'interconnexion)

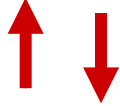


Décisions de routage



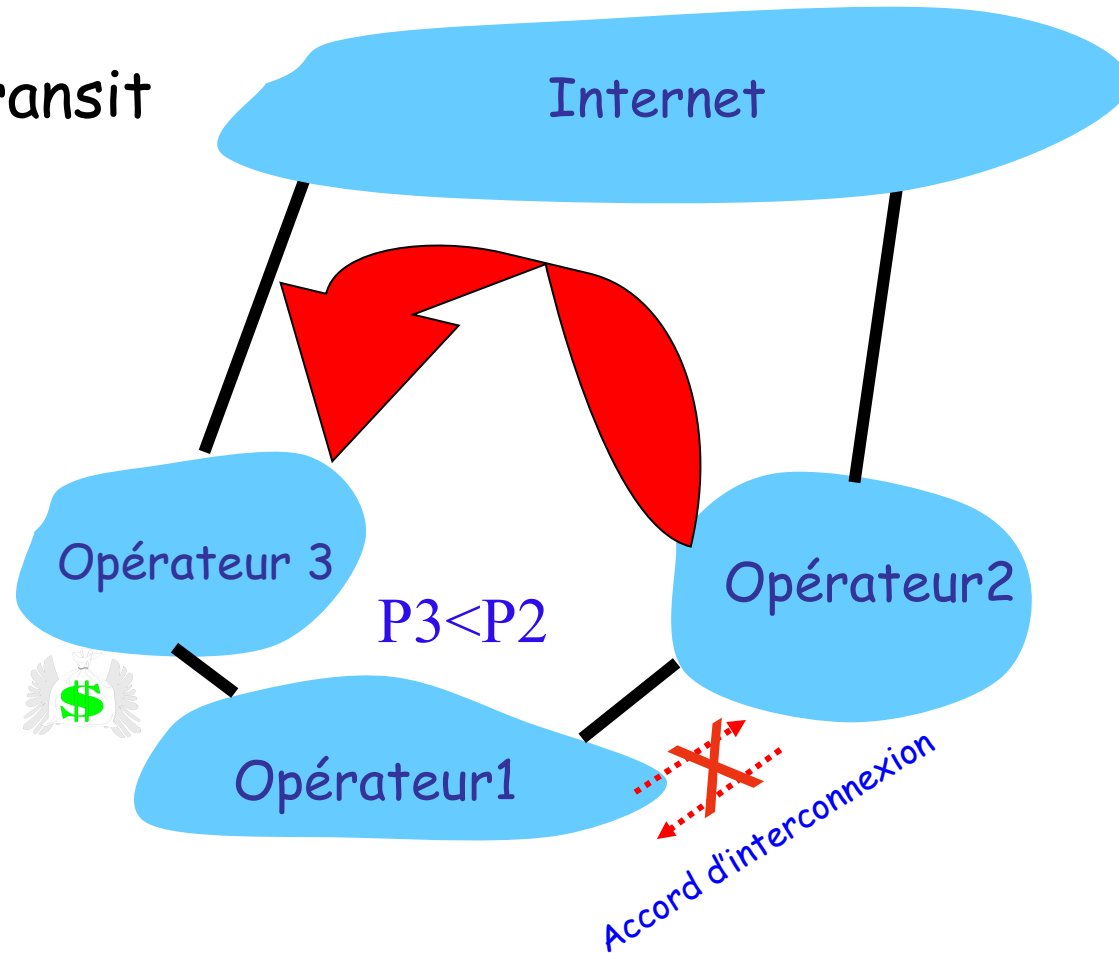
Contexte et motivation

Négociation des prix de transit



Décisions de routage
(coût minimum)

Connectivité + QoS



Problématique

Routage sans garantie de services

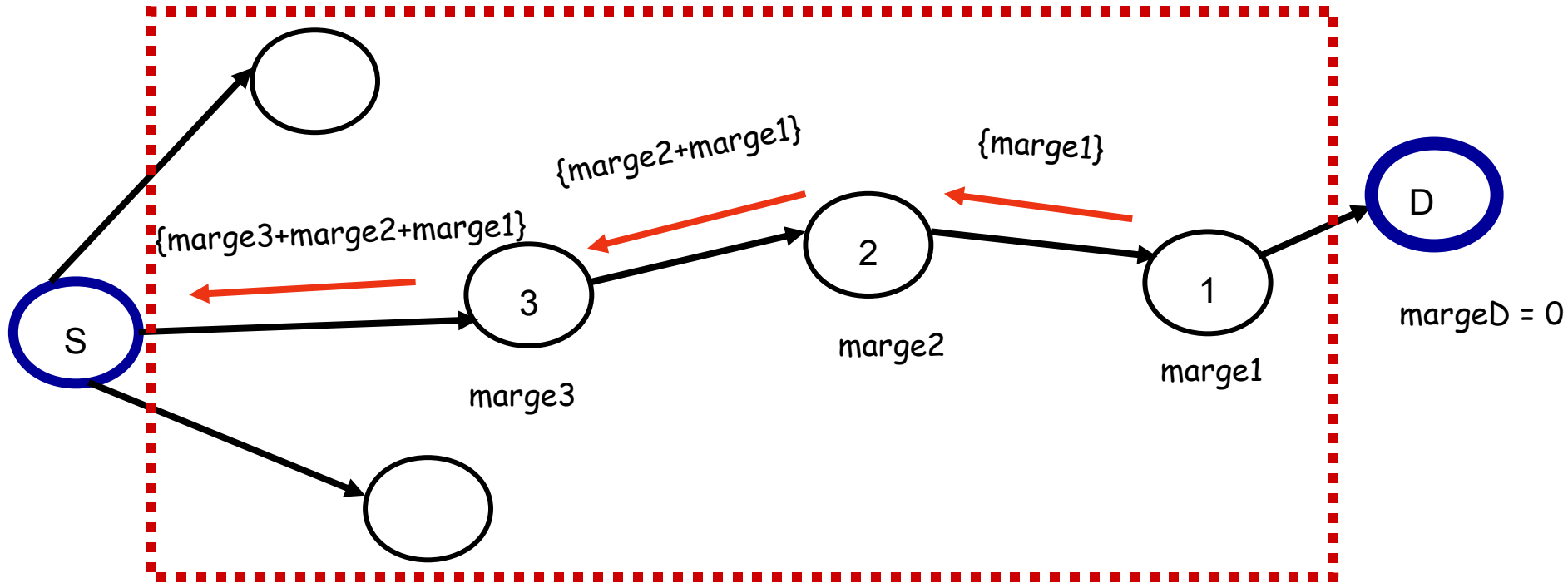
Routage avec garantie de services

Fixation des prix de transit

Modèle général

❑ Choix du chemin de moindre coût

- ✓ Notion de priorité entre les chemins (l'identificateur)
- ✓ Le prix de la route choisie par $S \leq P_{\max}$



Objectif Etre sur la route choisie par S tout en maximisant sa marge ?

→ **Compétition entre les opérateurs**

Théorie des Jeux dans les réseaux de télécom.

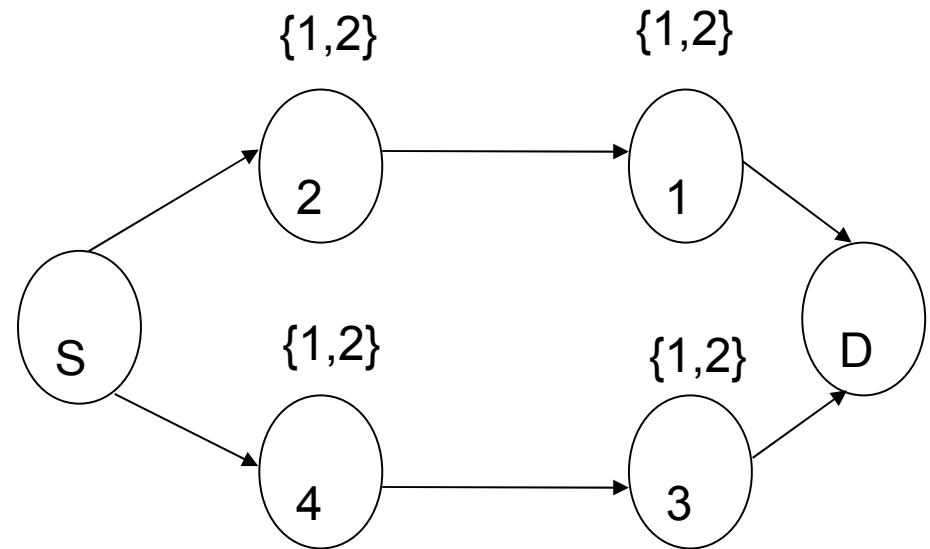
Modélisation des phénomènes observés entre des preneurs de décisions

Fixation des marges :

Joueur = Opérateur

Stratégie = Marge

Bénéfice (profil) = Marge



Théorie des Jeux dans les réseaux de télécom.

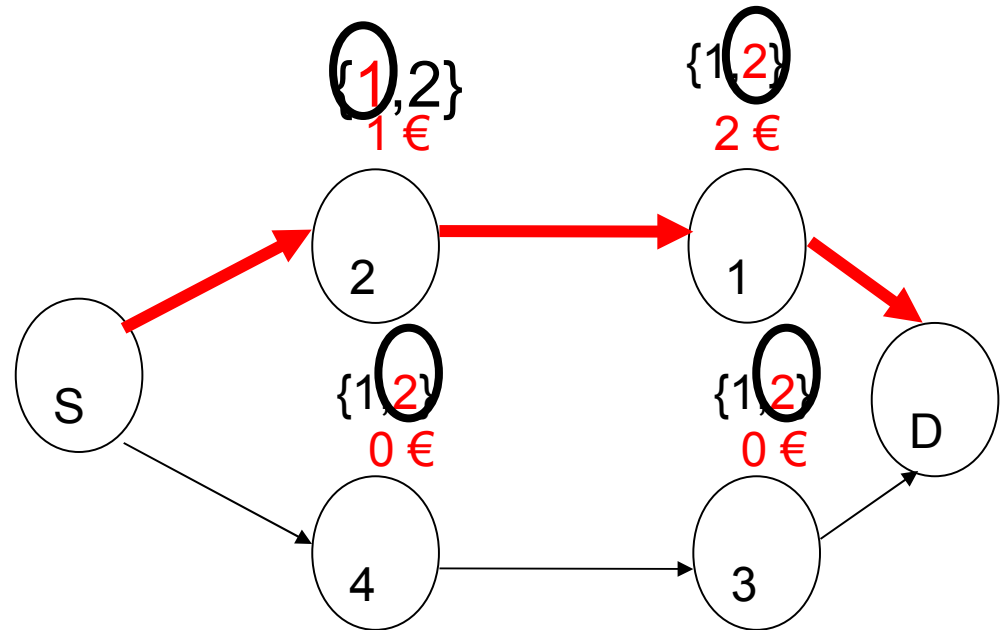
Modélisation des phénomènes observés entre des preneurs de décisions

Fixation des marges:

Joueur = Opérateur

Stratégie = Marge

Bénéfice (profil) = Marge



Théorie des Jeux dans les réseaux de télécom.

Modélisation des phénomènes observés entre des preneurs de décisions

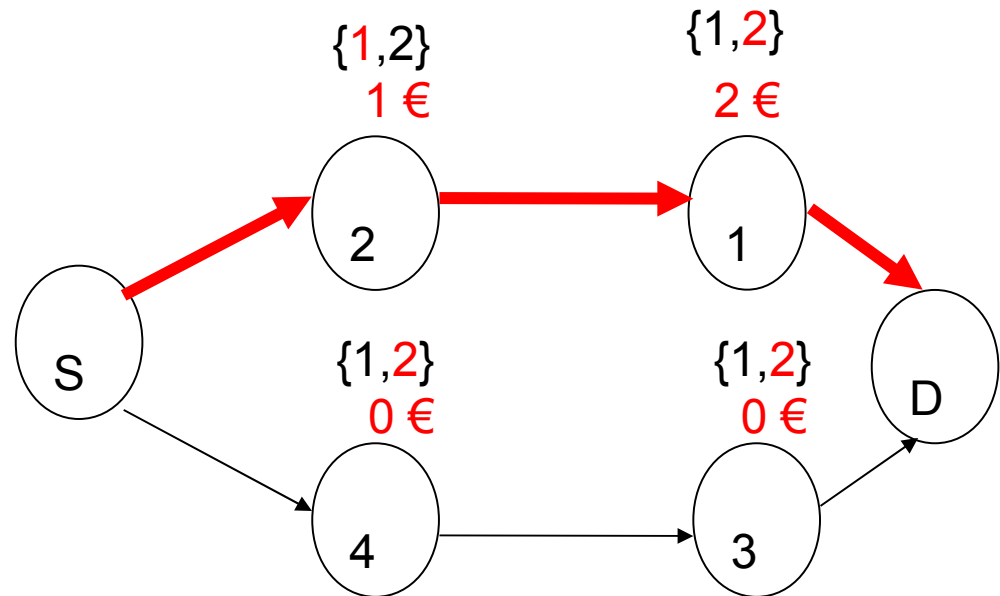
Fixation des marges:

Joueur = Opérateur

Stratégie = Marge

Bénéfice (profil) = Marge

JEU



Statique : joué une seule fois

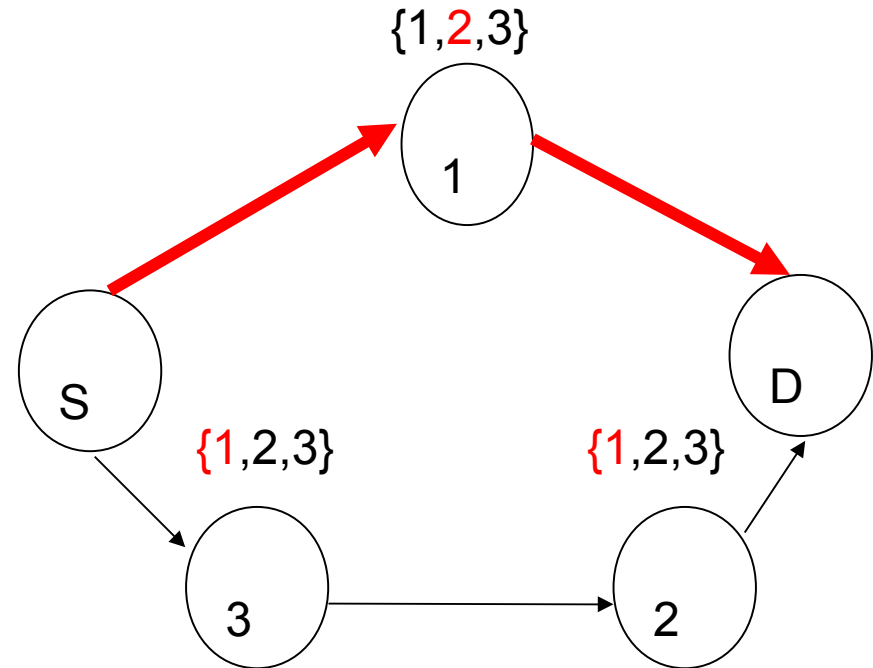
Répété: même jeu (jeu constituant)
rejoué plusieurs fois

Théorie des Jeux dans les réseaux de télécom.

Équilibre de Nash (stabilité/ rationalité)

Un profil de stratégie est un équilibre de Nash (EN) ssi aucun joueur n'a intérêt à dévier **unilatéralement** de sa stratégie.

La déviation unilatérale ne peut que baisser le bénéfice du joueur



Théorie des Jeux dans les réseaux de télécom.

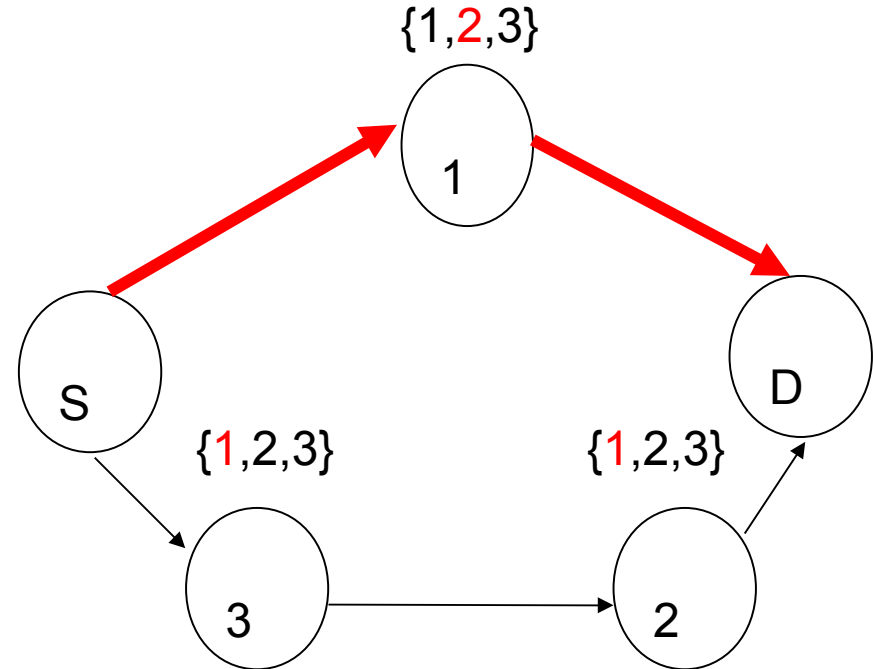
Équilibre de Nash (stabilité/ rationalité)

Un profil de stratégie est un équilibre de Nash (EN) ssi aucun joueur n'a intérêt à dévier **unilatéralement** de sa stratégie.

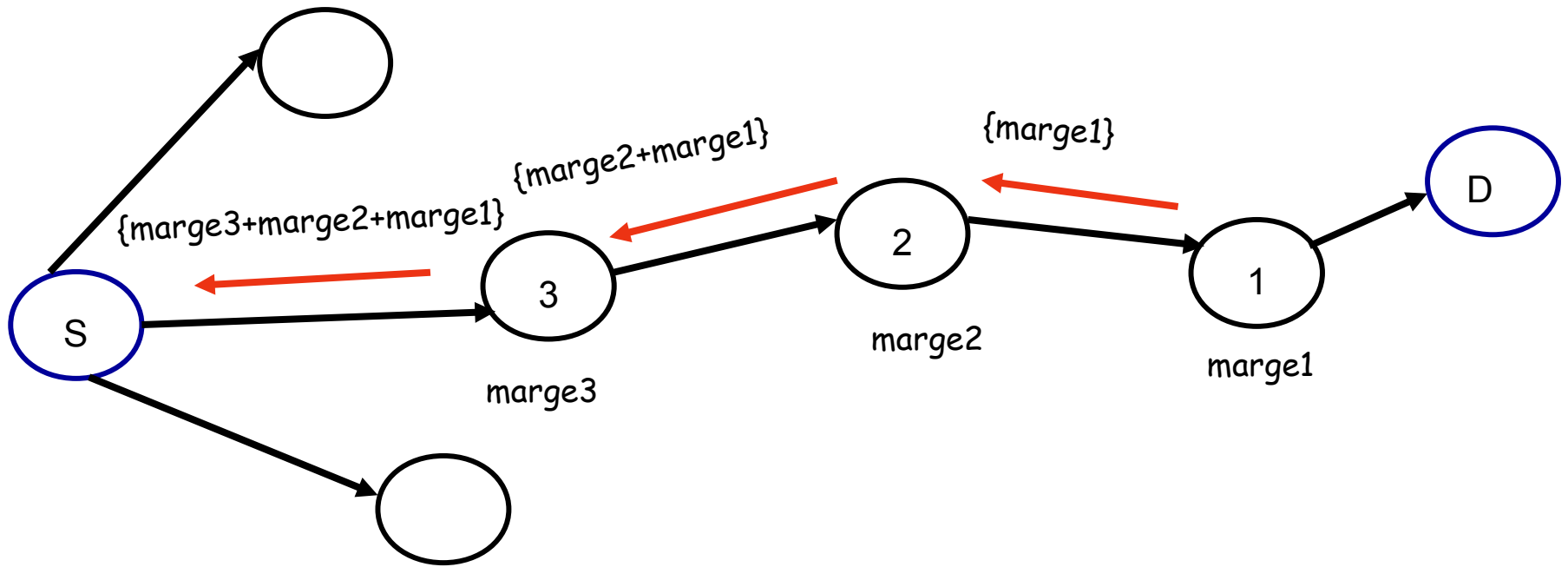
La déviation unilatérale ne peut que baisser le bénéfice du joueur



Jeu répété : La déviation unilatérale à une **étape t** ne peut que baisser le bénéfice **cumulé**, sachant que les autres joueurs auraient **réagit** à l'**étape t+1**



Modèle général



Joueur = Opérateur

Stratégie = Marge + Critères de QoS

Quelle stratégies? → Situations d'équilibre (EN)?

Contributions

1. Stratégies de fixation des marges basées

1. 1- sur la coalition (RNRT ACTRICE)

2. 1- sur l'apprentissage stochastique (ANR SOGEA)

1. Gestion des prix de transit avec garantie de la QoS

(RNRT ACTRICE)

Contributions

1. Stratégies de fixation des marges basées

1. 1- sur la coalition (RNRT ACTRICE)

1. 1- sur l'apprentissage stochastique (ANR SOGEA)

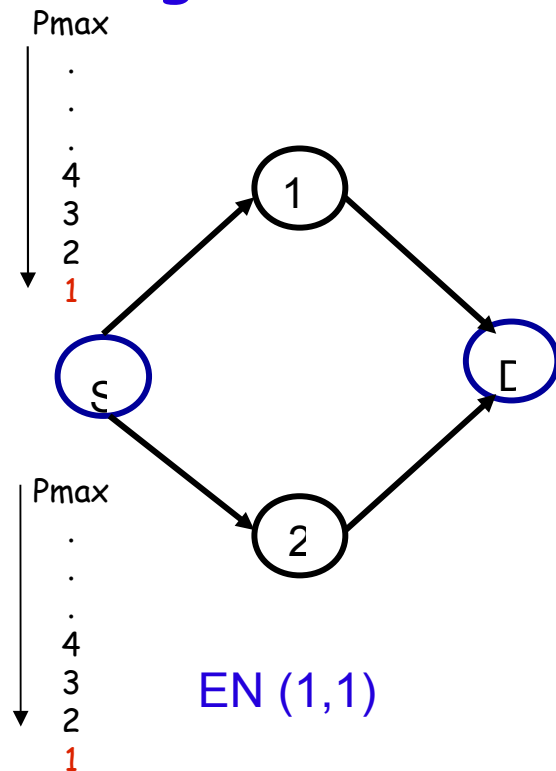
1. Gestion des prix de transit avec garantie de la QoS

(RNRT ACTRICE)

Jeu **répété** à information **complète**

- ✓ Chaque joueur fixe sa marge
- ✓ La source choisit la route de coût minimum ($\leq P_{\max}$)

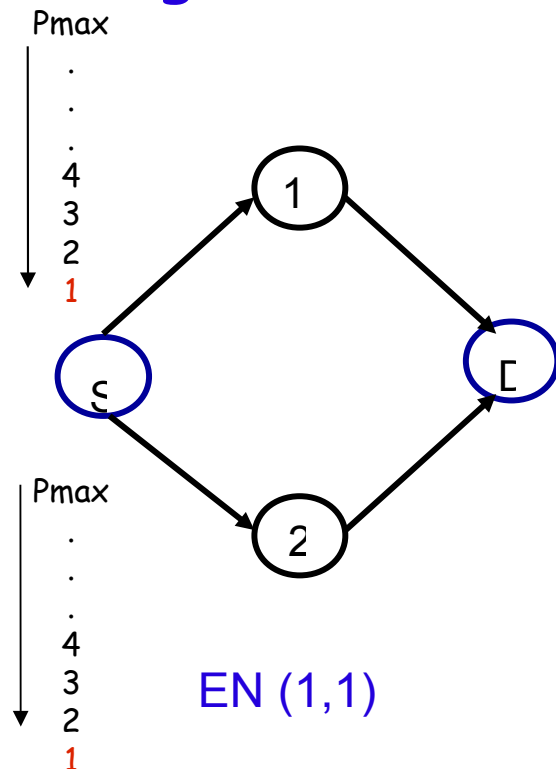
Stratégie concurrentielle



Jeu **répété** à information **complète**

- ✓ Chaque joueur fixe sa marge
- ✓ La source choisit la route de coût minimum ($\leq P_{\max}$)

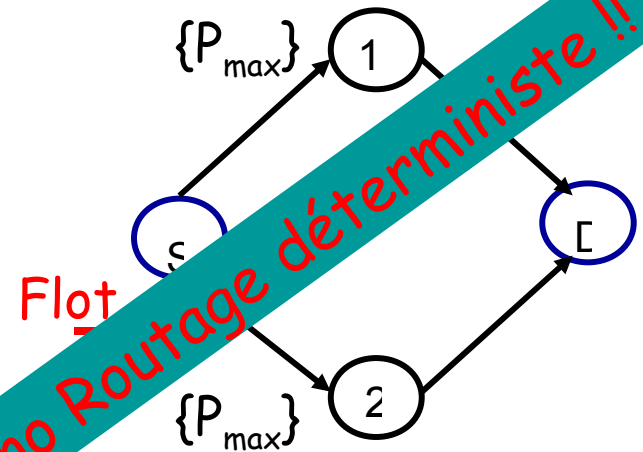
Stratégie concurrentielle



Maximiser le
bénéfice cumulé



Stratégie de coalition [jeu de Bertrand]

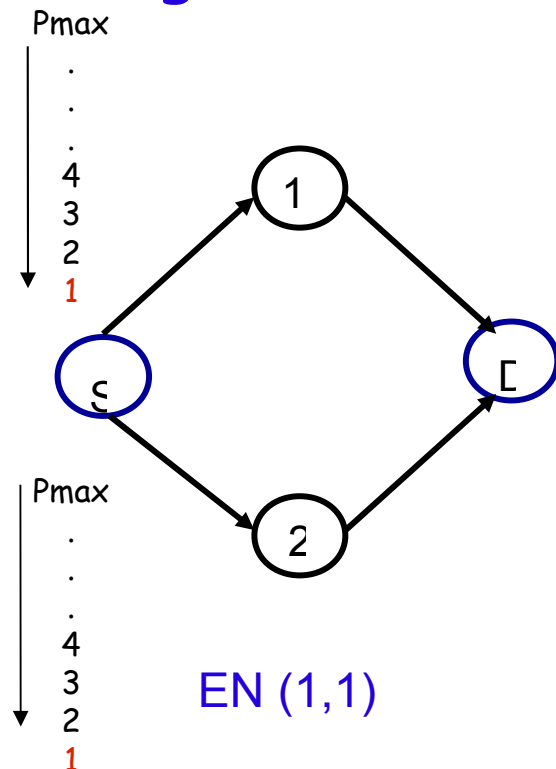


Partage du trafic de la source
par annonce du **prix de monopole**

Jeu **répété** à information **complète**

- ✓ Chaque joueur fixe sa marge
- ✓ La source choisit la route de coût minimum ($\leq P_{\max}$)

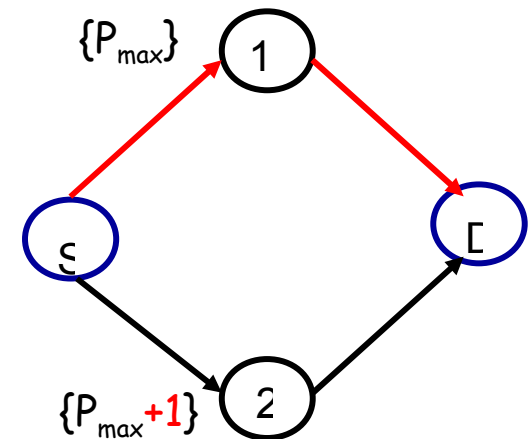
Stratégie concurrentielle



Maximiser le
bénéfice cumulé



Stratégie de coalition [jeu de Bertrand]

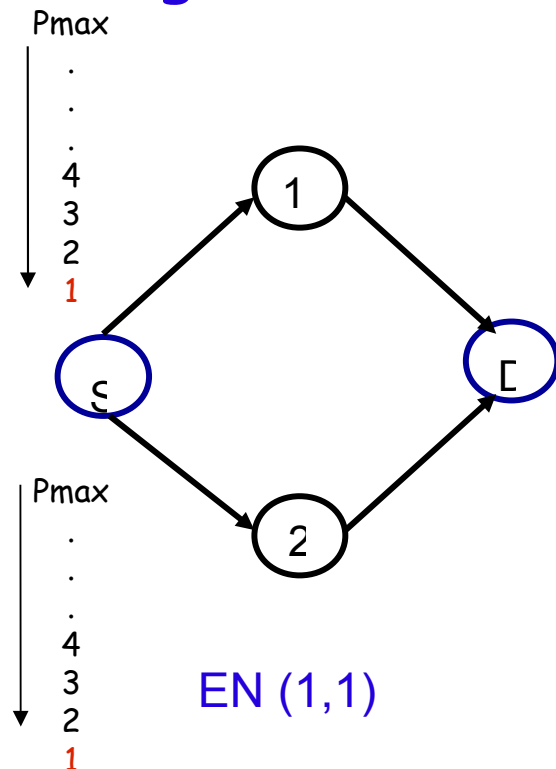


Partage du trafic de la source
selon une dimension **temporelle**

Jeu **répété** à information **complète**

- ✓ Chaque joueur fixe sa marge
- ✓ La source choisit la route de coût minimum ($\leq P_{\max}$)

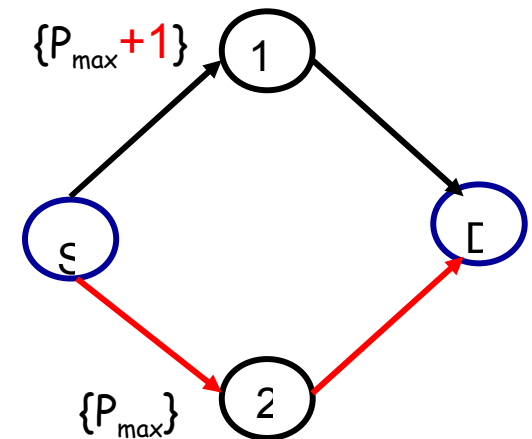
Stratégie concurrentielle



Maximiser le
bénéfice cumulé



Stratégie de coalition [jeu de Bertrand]

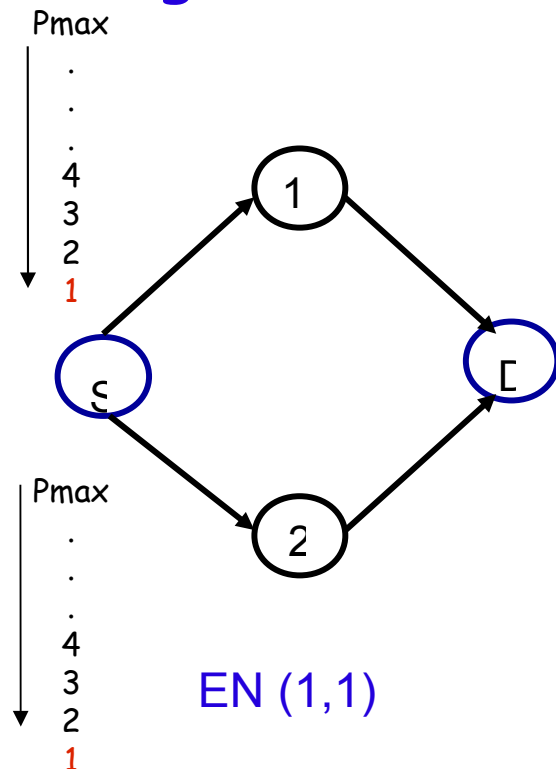


Partage du trafic de la source selon
une dimension **temporelle**

Jeu **répété** à information **complète**

- ✓ Chaque joueur fixe sa marge
- ✓ La source choisit la route de coût minimum ($\leq P_{\max}$)

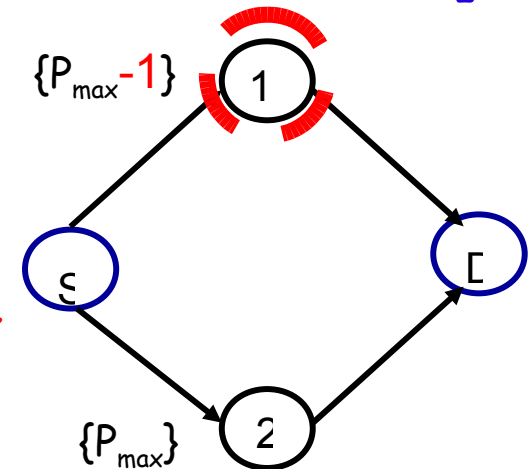
Stratégie concurrentielle



Maximiser le
bénéfice cumulé

Stratégie de la gâchette

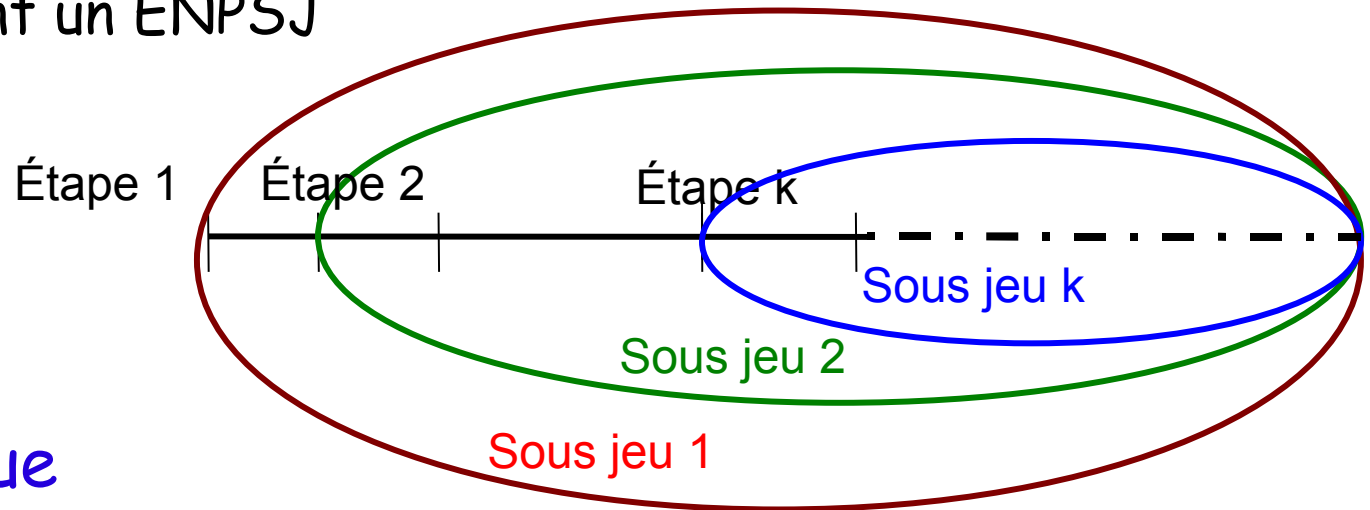
Stratégie de coalition [jeu de Bertrand]



Équilibre de Nash **Parfait de**
Sous jeu (ENPSJ)

Equilibre de Nash Parfait de Sous Jeu

- ❑ **Chaque** étape du jeu répété définit un sous jeu
- ❑ Si les profils des stratégies forment un équilibre de Nash dans **chaque** sous jeu alors l'ensemble de ces profils de stratégies forment un ENPSJ



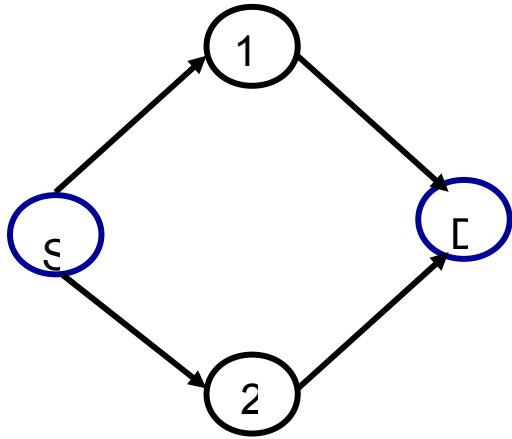
Déviation unique

Même une déviation **à une seule étape** ne peut que baisser le bénéfice cumulé (stratégie de la gâchette)

Principe de la coalition

1.1 coalition

Preuve (topologie avec 2 joueurs)



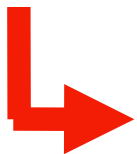
		Etape 2k	Etape 2k+1	
Joueur 1		$P_{\max}$ $p_{\max}$	$P_{\max+1}$ 0	
Joueur 2		$P_{\max+1}$ 0	$P_{\max}$ $p_{\max}$	

bénéfice cumulé du joueur 2 = $p_{\max}$



		Etape 2k	Etape 2k+1	
Joueur 1		$P_{\max}$ 0	1 1	
Joueur 2		$P_{\max-1}$ $p_{\max-1}$	$P_{\max}$ 0	

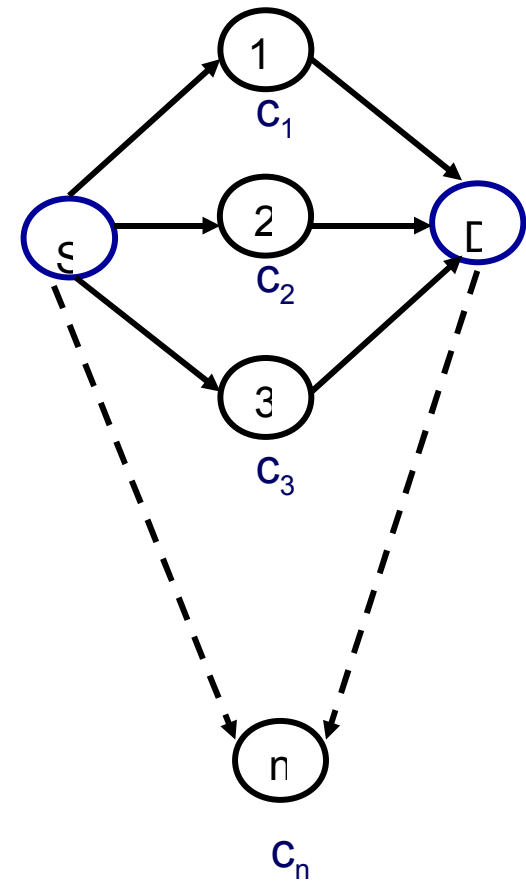
bénéfice cumulé du joueur 2 = $p_{\max} - 1$



Équilibre de Nash Parfait de Sous jeu (ENPSJ)

Cas de n joueurs avec coût 1.1 coalition

- c_i : coût du transit par le joueur i
- $c_1 < c_2 < \dots < c_n \leq P_{\max}$



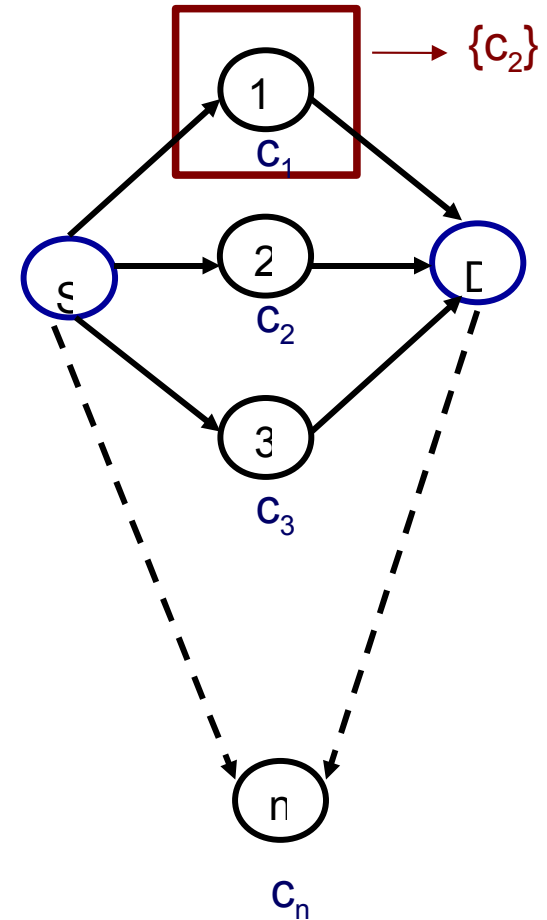
Cas de n joueurs avec coût

1.1 coalition

- c_i : coût du transit par le joueur i
- $c_1 < c_2 < \dots < c_n$

Choix du joueur 1

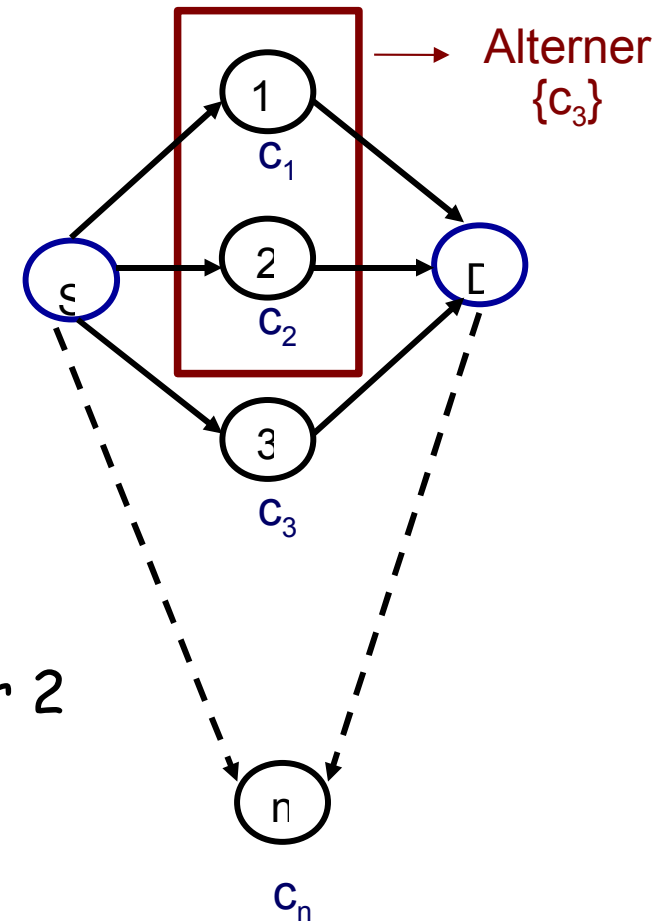
- Garder tout le marché ($c_2 - c_1$)



Cas de n joueurs avec coût

1.1 coalition

- c_i : coût du transit par le joueur i
- $c_1 < c_2 < \dots < c_n$



Choix du joueur 1

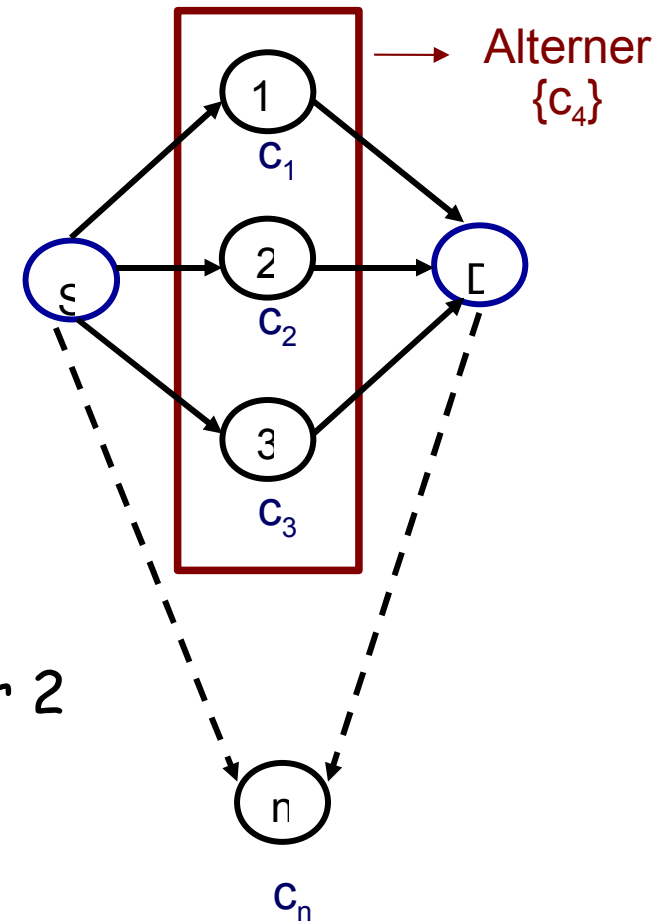
- Garder tout le marché (c_2)
- Partager le marché avec le joueur 2

(bénéfice moyen: $c_3 - c_1/2$)

Cas de n joueurs avec coût

1.1 coalition

- c_i : coût du transit par le joueur i
- $c_1 < c_2 < \dots < c_n$



Choix du joueur 1

- Garder tout le marché (c_2)
- Partager le marché avec le joueur 2

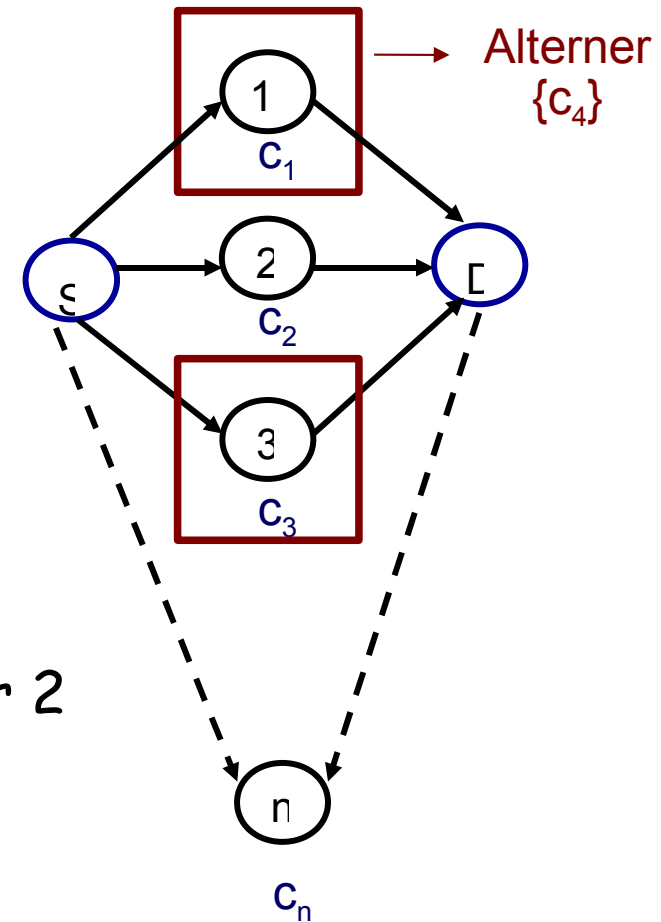
(bénéfice moyen: $c_3/2 - c_1$)

- Etc ...

Cas de n joueurs avec coût

1.1 coalition

- c_i : coût du transit par le joueur i
- $c_1 < c_2 < \dots < c_n$



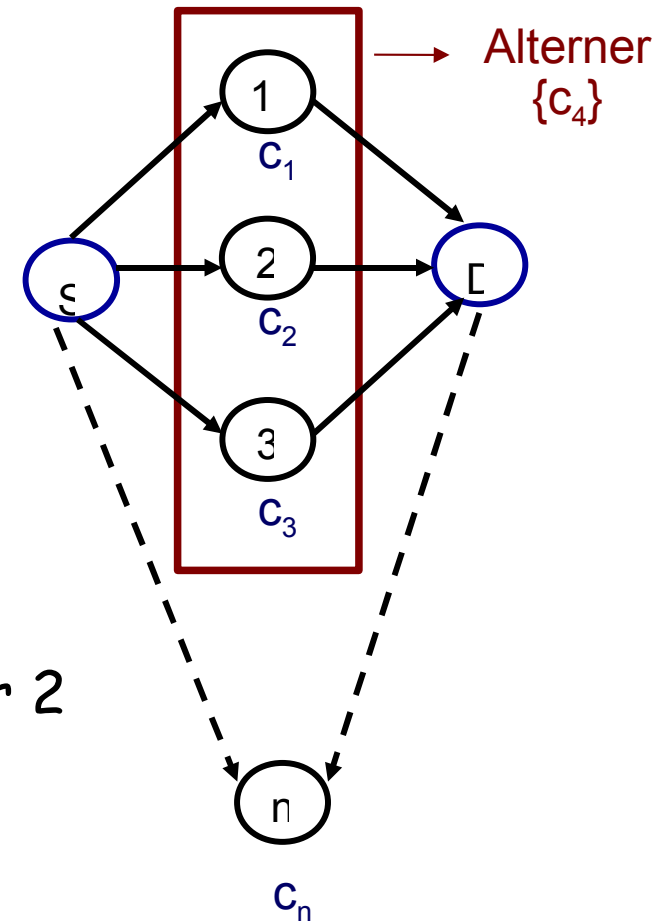
Choix du joueur 1

- Garder tout le marché (c_2)
- Partager le marché avec le joueur 2
(bénéfice moyen: $c_3/2 - c_1$)
- Etc ...

Cas de n joueurs avec coût

1.1 coalition

- c_i : coût du transit par le joueur i
- $c_1 < c_2 < \dots < c_n$



Choix du joueur 1

- Garder tout le marché (c_2)
- Partager le marché avec le joueur 2 (bénéfice moyen: $c_3/2$)
- Etc ...

Stratégie de la gâchette

En cas de déviation du joueur i , jouer C_i (Exclusion)

Cas de n joueurs avec coût

1.1 coalition

Choix du joueur 1

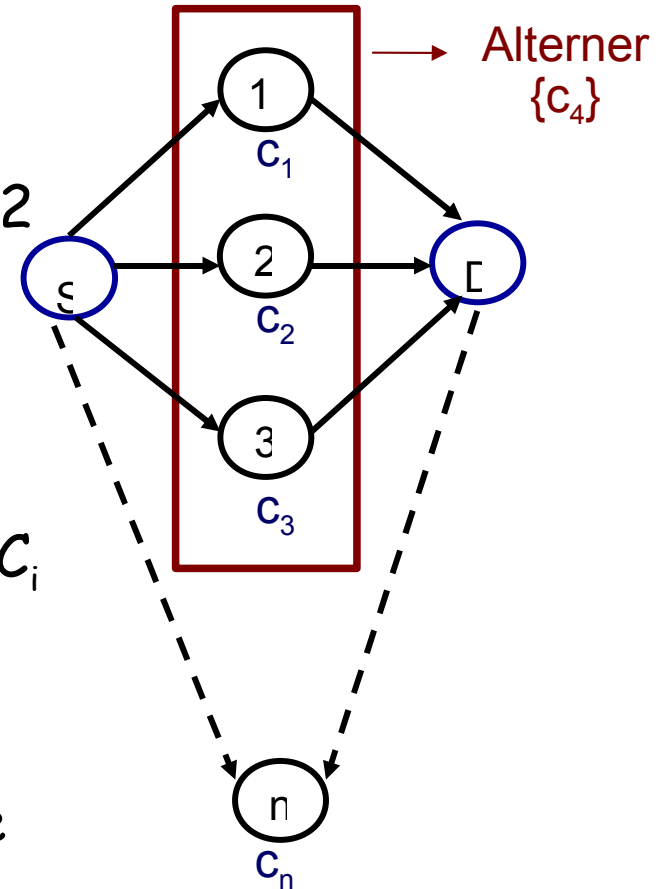
- Garder tout le marché (c_2)
- Partager le marché avec le joueur 2 (bénéfice moyen: $c_3/2$)
- Etc ...

Stratégie de la gâchette

En cas de déviation du joueur i , jouer C_i
(Exclusion)

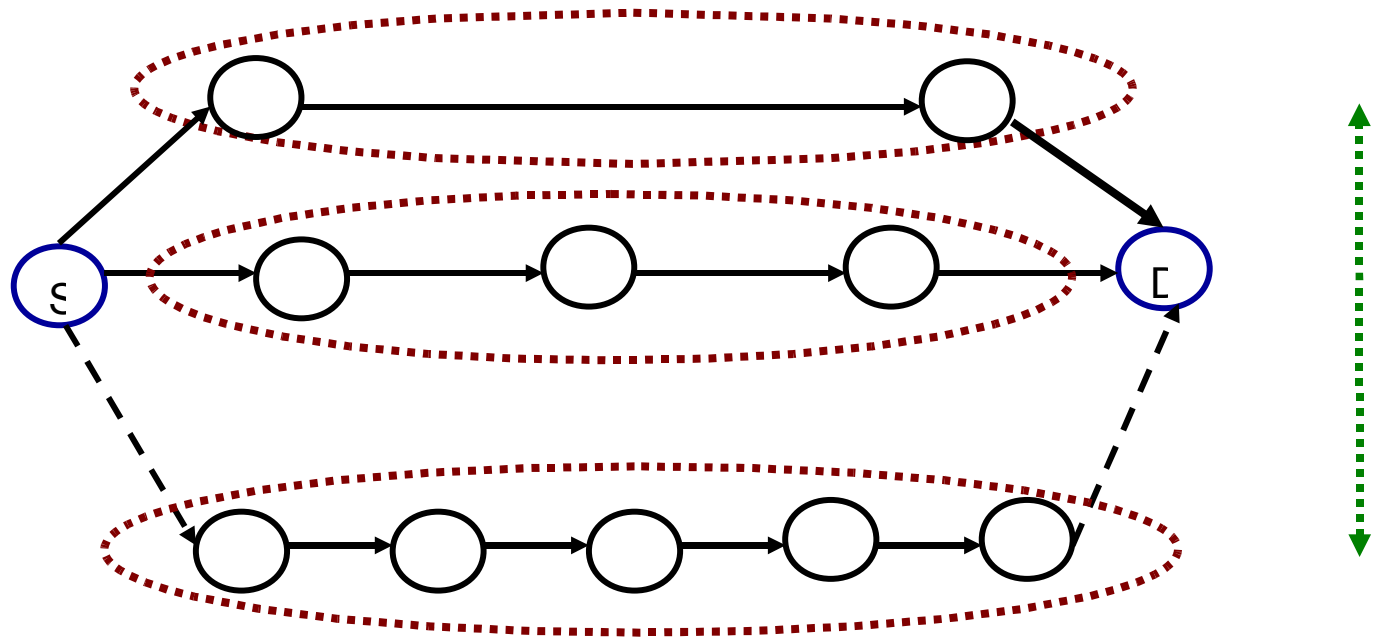
□ Le joueur 1 choisit la marge qui maximise son bénéfice cumulé

- ✓ Le reste des joueurs ont intérêt à suivre son choix
 - ✓ Equilibre de Nash Parfait de Sous Jeu
- Jeu



Cas de multiples chemins disjoints

1.1 coalition

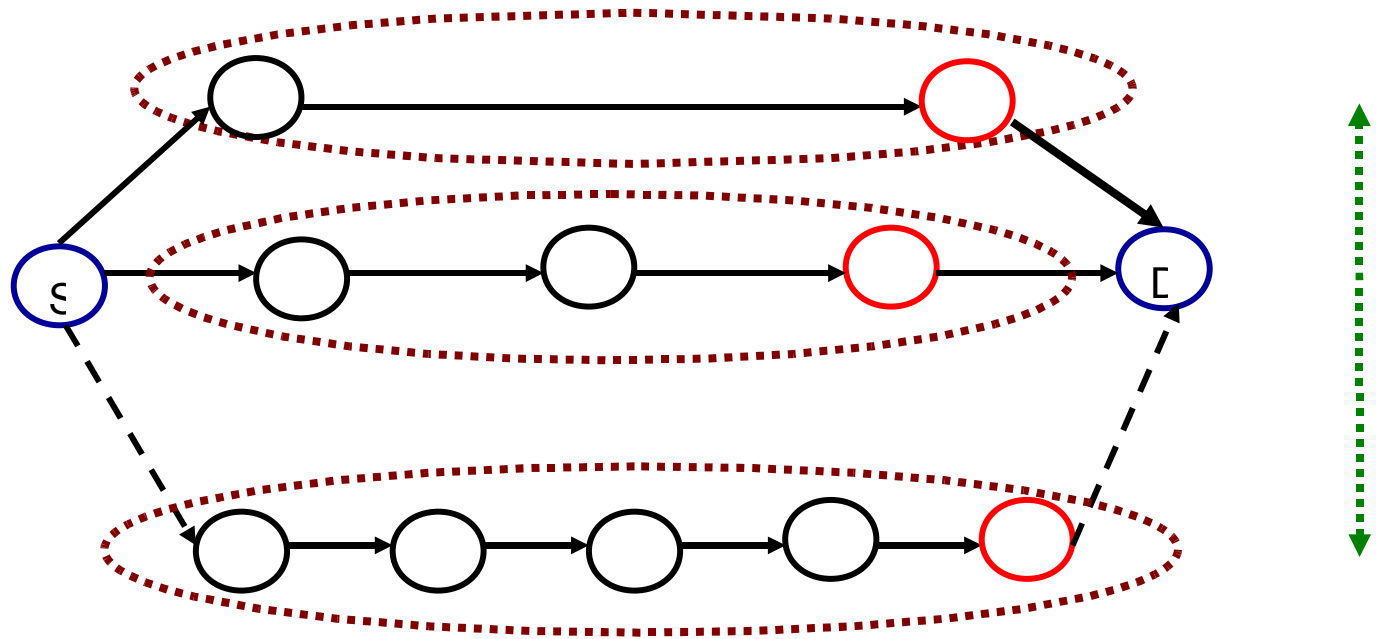


Compétition entre les joueurs

- ❑ sur un même chemin
- ❑ sur des chemins différents

Cas de multiples chemins disjoints

1.1 coalition

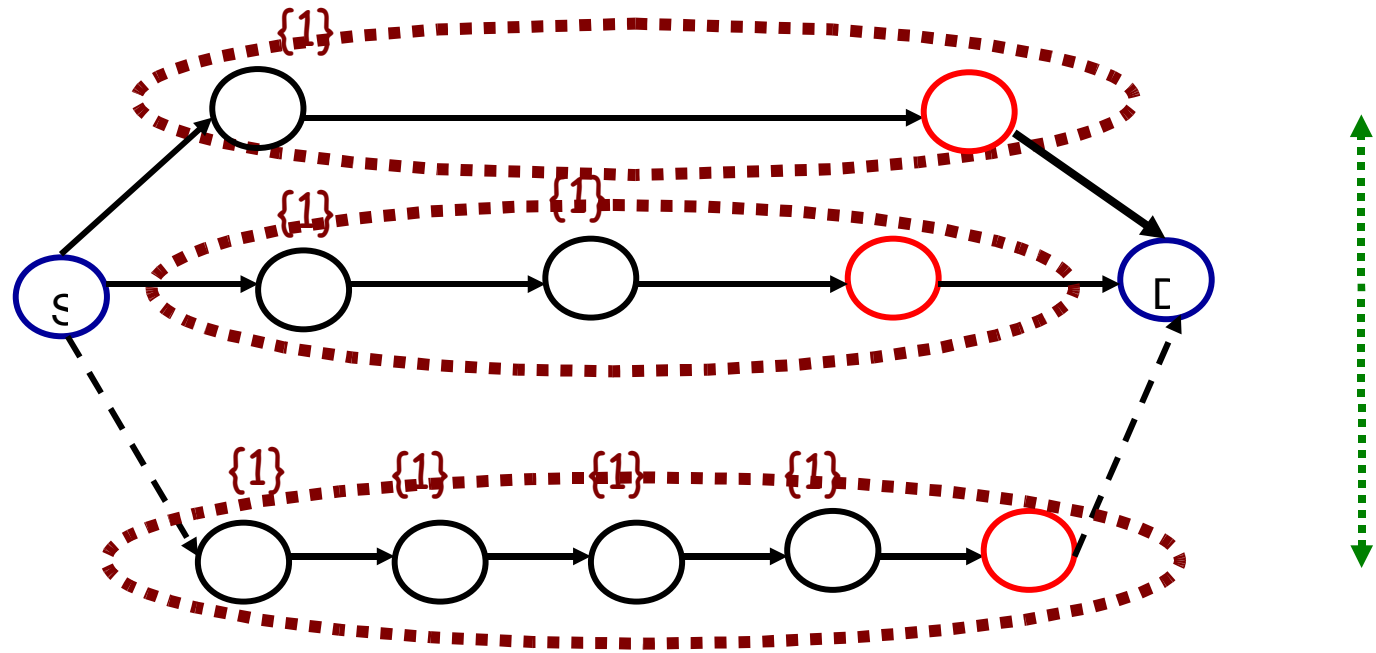


Compétition entre les joueurs sur un même chemin (ultimatum)

- L'offreur: propose un partage de bénéfice en favorisant sa part
- Les autres joueurs : accepter le peu qu'on leur propose / avoir un bénéfice nul.

Cas de multiples chemins disjoints

1.1 coalition



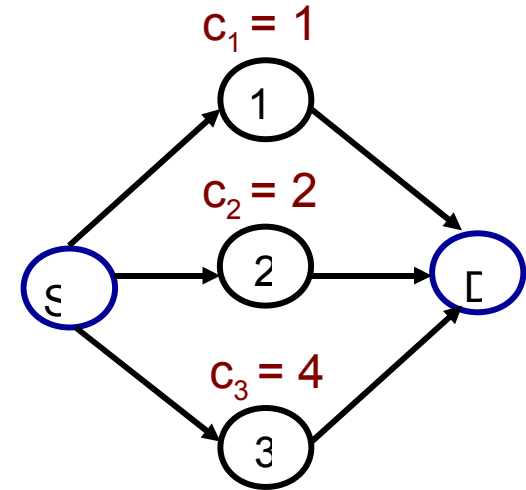
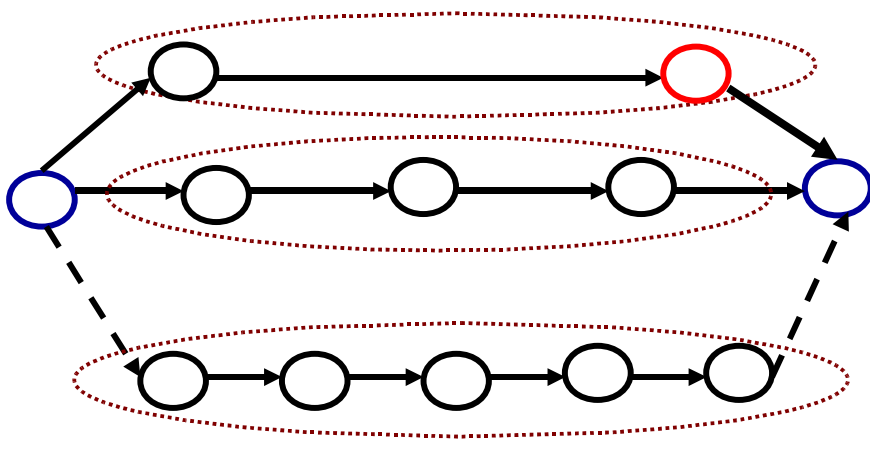
Compétition entre les joueurs sur un même chemin (ultimatum)

- L'offreur : propose un partage de bénéfice en favorisant sa part
- Les autres joueurs : accepter le peu qu'on leur propose / avoir un bénéfice nul.

Stratégie optimale des offreurs : Proposer la plus grande marge possible en ne laissant à leurs prédécesseurs que la possibilité de faire un bénéfice de 1.

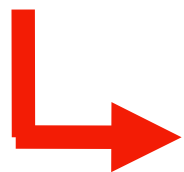
Cas de multiples chemins disjoints

1.1 coalition



Compétition entre les joueurs sur des chemins différents

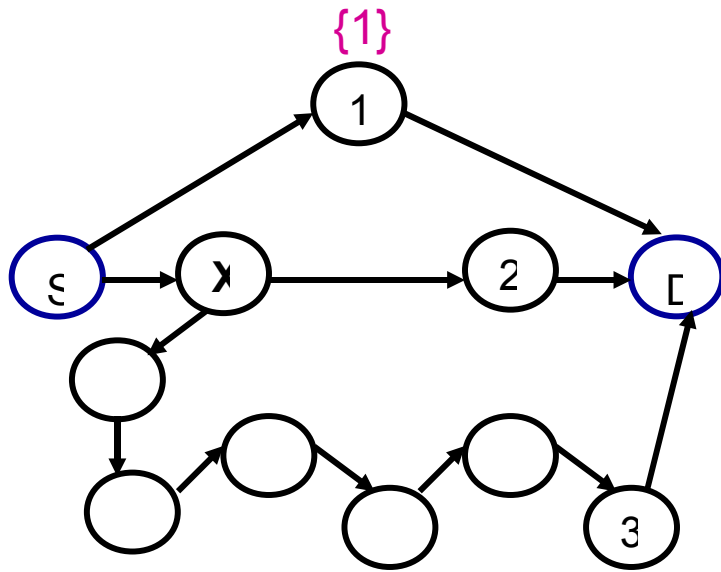
- ✓ Analyse similaire au cas simple (un joueur par route)
- ✓ Le joueur qui décide est l'offreur sur le chemin de moindre coût.



Equilibre de Nash **Parfait de**
Sous Jeu

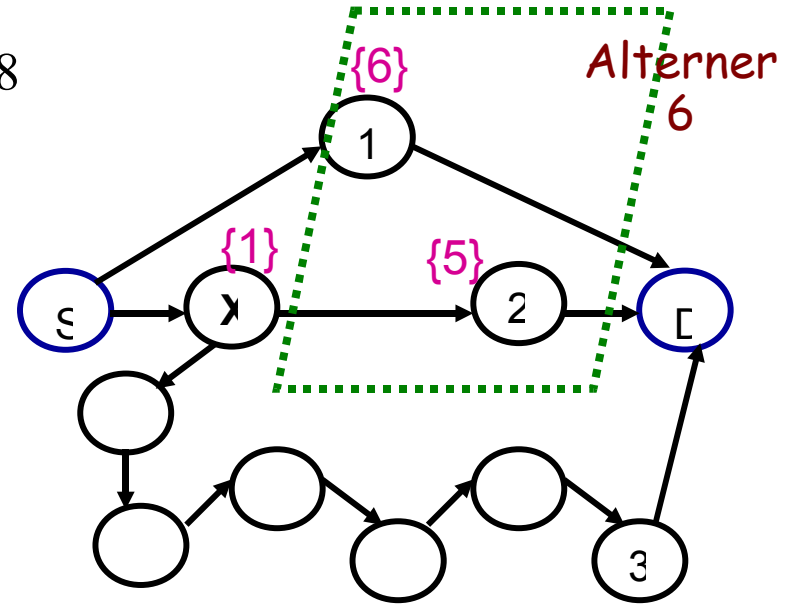
Cas général

1.1 coalition



Garder tout le marché

$$P_{\max} = 8$$

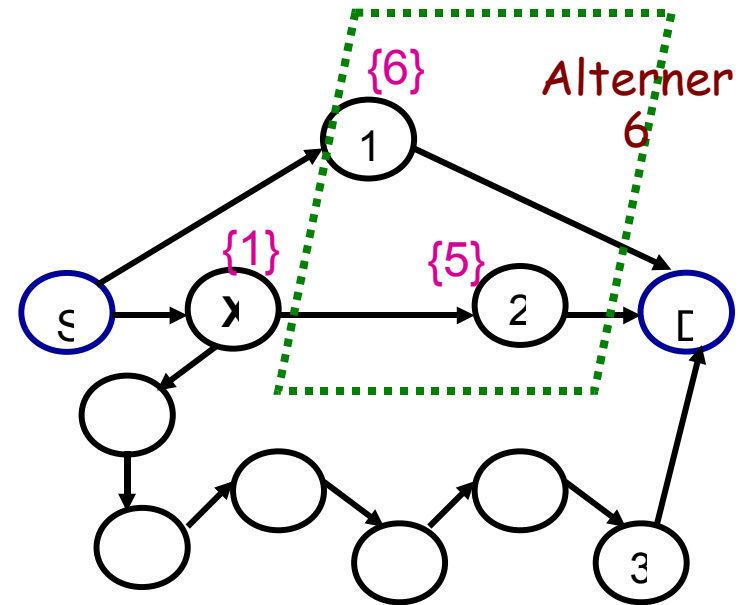
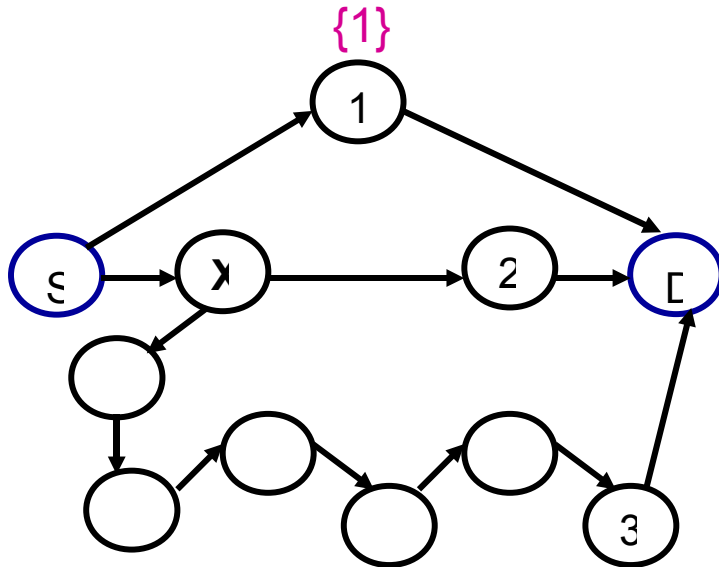


Partager le marché

Cas général

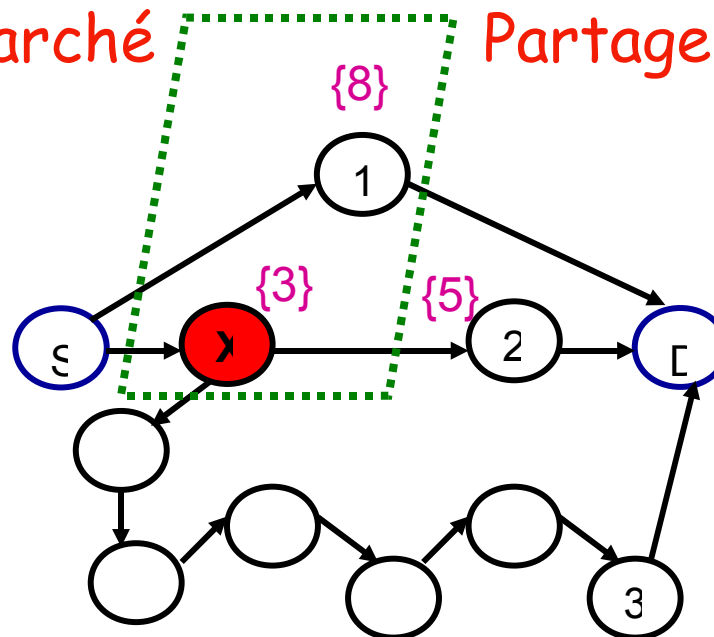
1.1 coalition

$$P_{\max} = 8$$



Garder tout le marché

Partager le marché



- Nœud bouchon: proposer une nouvelle coalition sans remise en cause de l'ancienne coalition

- Algorithme qui détermine des coalitions efficaces (Preuve ENPSJ)

Chaque opérateur ne connaît que :

- S'il est traversé ou non
- Les prix de ses routes annoncées par ses voisins

Comment créer des coalitions tacites ?

Chaque opérateur ne connaît que :

- S'il est traversé ou non
- Les prix de transit annoncés par ses voisins

Comment créer des coalitions tacites ?

Stratégie d'ajustement des prix (gloutonne):

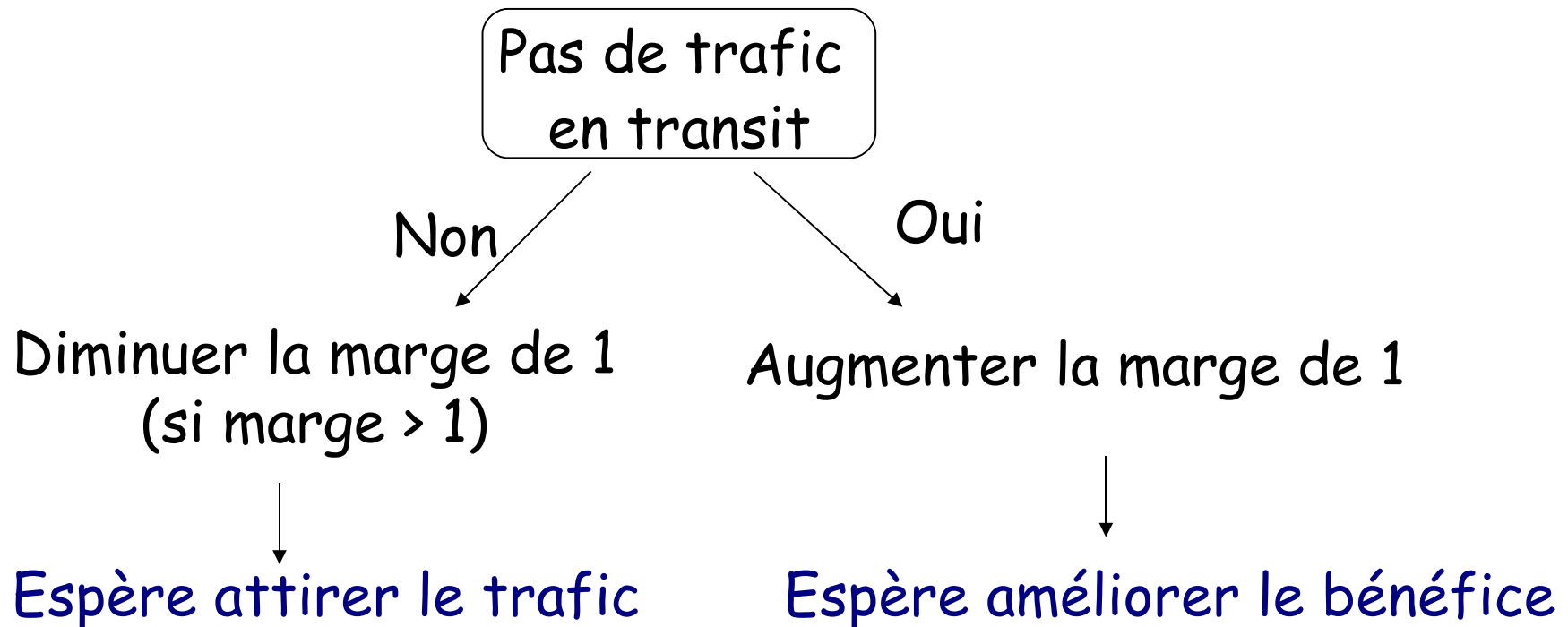
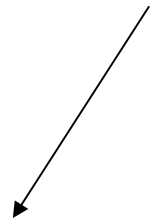
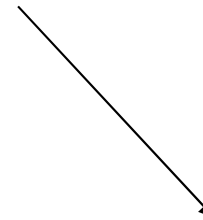


Plate-forme de simulation PNSIN (Pricing Negotiation Simulator for Interdomain Networks)

- ➔ Modèle de communication distribué et asynchrone
 - ✓ Mise à jour des stratégies à des périodes de temps régulières
 - ✓ Les périodes ne sont pas synchrones.

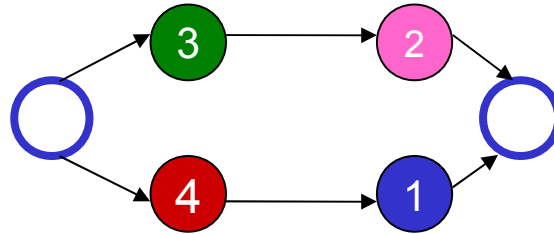


Intégration des algorithmes distribués pour la tarification



Gestion de la QoS avec contraintes économiques

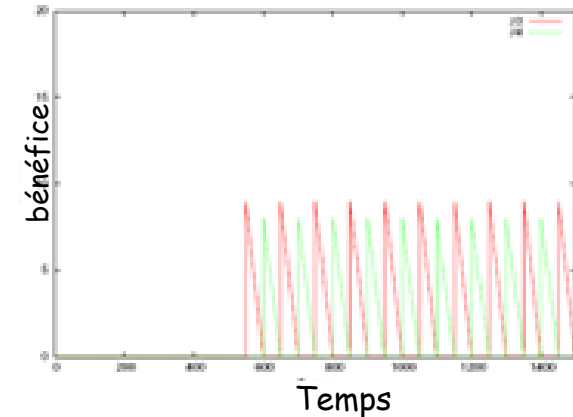
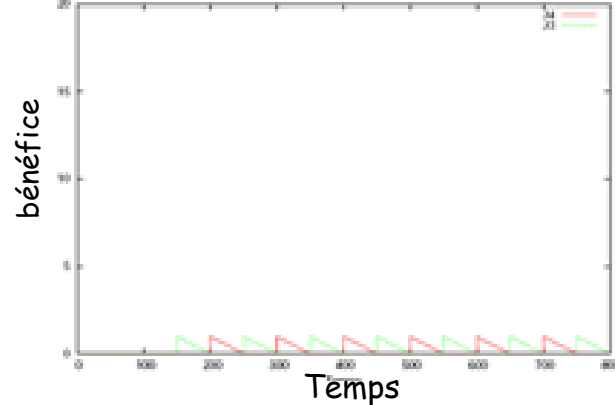
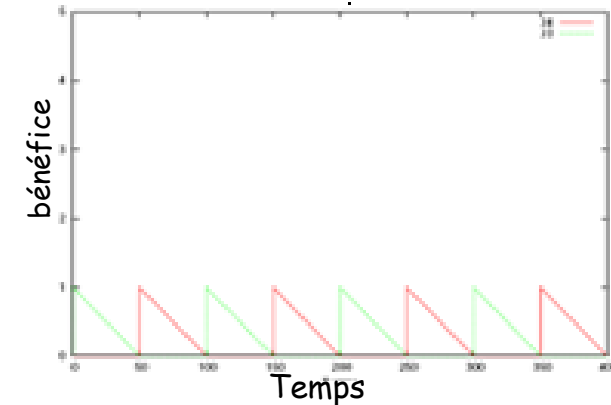
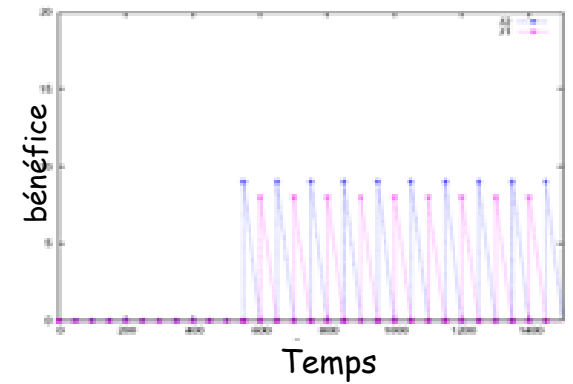
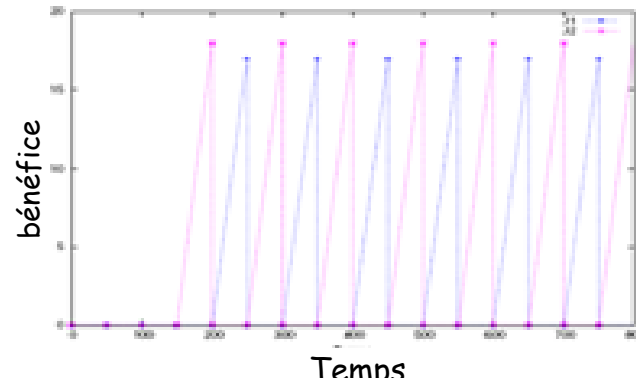
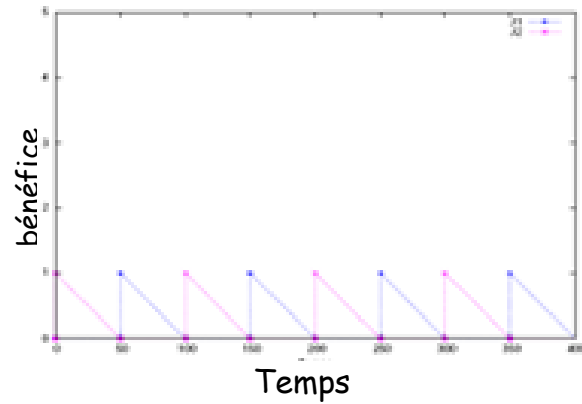
Jeu dynamique distribué 1.1 coalition



Marges initialisées à =1

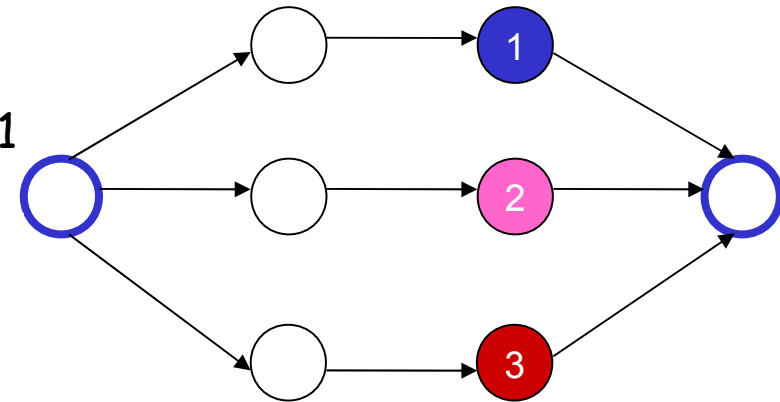
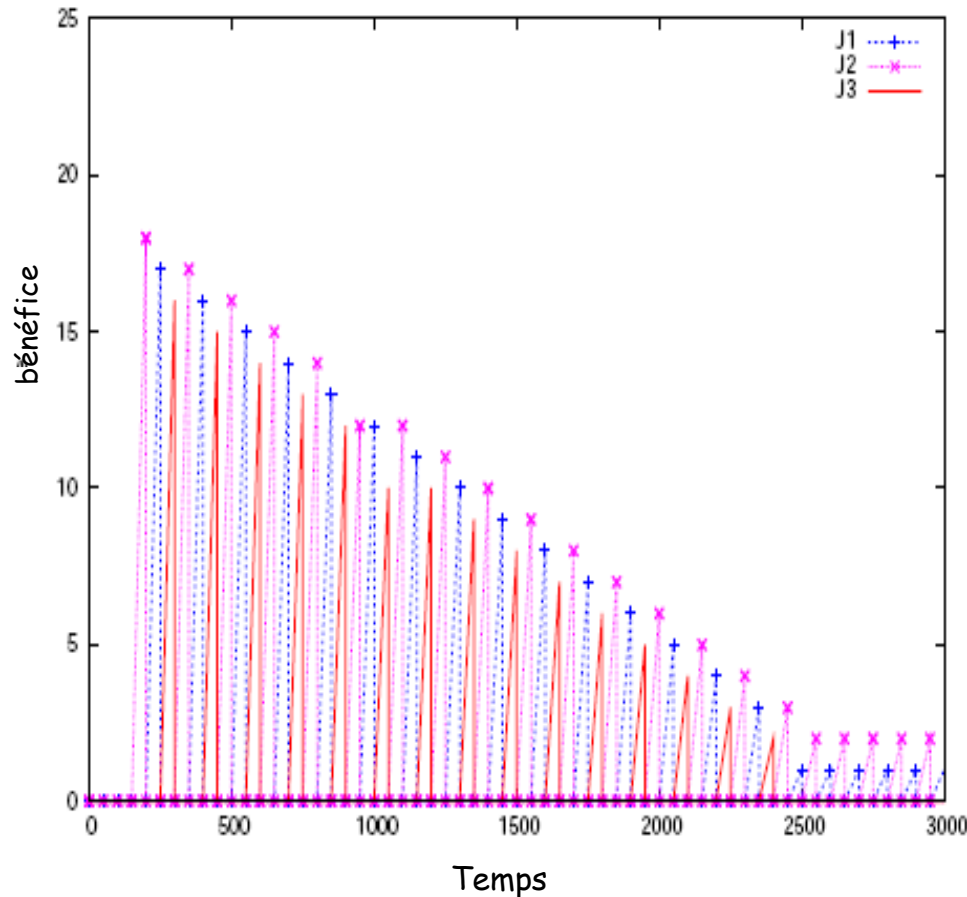
Offreurs $> p_{max}$, nœud intermédiaire =1

Marges $> p_{max}$



Jeu dynamique distribué 1.1 coalition

Marge à l'initialisation = offreurs $\succ$ pmax
nœud intermediaire = 1



Mise à jour non équilibrée des marges

- Réduction de la marge autant de fois que le Nombre de chemin du graphe.
- Augmentation de 1

- Différentes approches de coalitions selon la topologie du graphe.
 - Les coalitions pour la maximisation des bénéfices moyens
 - Les coalitions pour la stabilité des choix de marges
- (ENPSJ)
- Contraintes de l'interdomaine et coalitions tacites !

Difficile de croire qu'il est possible de former des coalitions
sans ententes préalables.

Perspectives

Tarification sans garantie de services

Coalition

- ❑ Extension de la stratégie à une topologie avec plusieurs sources et destinations
- ❑ Définir des stratégies qui donnent un bon compromis entre la stabilité des marges et la stabilité du routage.

Merci pour votre
attention