

---

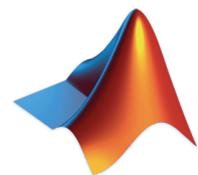
# Implémentation et résultats

## 5.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons implémenter notre stratégie de l'incitation à la mise en cache dans les réseaux d'internet de véhicules déjà présentée dans le chapitre précédent. Nous utilisons le logiciel **MATLAB** [90] pour évaluer les performances de notre jeu de Stackelberg et aussi la théorie des contrats pour l'incitation à la mise en cache. Ensuite, nous discutons les résultats et nous comparons entre les deux approches basées sur le jeu de Stackelberg et la théorie des contrats.

## 5.2 Présentation de l'outil de simulation

“Des millions d'ingénieurs et de scientifiques utilisent MATLAB pour analyser et concevoir les systèmes et produits de demain. MATLAB est présent dans des systèmes automobiles de sécurité active, des véhicules spatiaux, des appareils de surveillance médicale, des réseaux électriques intelligents et des réseaux mobiles ” [90]. Il est utilisé dans les domaines de l'apprentissage automatique et fournit un environnement qui encourage l'exploration et la découverte.



### 5.2.1 Environnement logiciel

La plate-forme **MATLAB** est optimisée pour résoudre les problèmes scientifiques et techniques. Le langage **MATLAB**, basé sur les matrices, est un des moyens le plus naturel au monde pour exprimer les mathématiques calculatoires. Les graphiques intégrés permettent de visualiser facilement les données afin d'en dégager des informations. Grâce à la vaste biblio-

thèque de boîtes à outils prédéfinies [90]. L'environnement bureau encourage l'expérimentation, l'exploration et la découverte. Les applications et le code personnalisables disponibles dans les tool boxes **MATLAB** permettent d'explorer rapidement des designs alternatifs, d'effectuer des tests avec des données réelles et d'analyser les résultats de simulation ainsi que les mesures [91]. Comme notre étude est basée sur la théorie des jeux et celle de contrats, toutes deux basées sur la formulation mathématique de problèmes. Nous avons choisi d'utiliser Matlab comme outil pour implémenter notre approche.

### 5.3 Description de scénario de simulation

Matlab nous permet de modéliser, simuler et déployer notre problème de la mise en cache en se basant sur le modèle de système présenté dans le chapitre précédent. Dans cette section, nous présentons les paramètres du système que nous avons utilisé pour réaliser la simulation.

#### 5.3.1 Paramètres de simulation

Pour les différentes expérimentations, nous considérons 8 CPs et 3 PTCs pour notre approche basée sur le jeu de type Stackelberg et 8 CPs et 1 PTC pour la théorie des contrats. Chaque PTC possède un ensemble de 50 véhicules. Chaque véhicule est équipé d'un cache embarqué avec une capacité de stockage de taille limitée égale à 10 Gigaoctet. Chaque CP souhaite mettre en cache ses fichiers populaires. Sans perte de généralité et pour soucis de simulation, nous supposons que tous les fichiers ont la même taille égale à 1 Gigaoctet, pour des contenus multimédias de haute qualité.

Nous considérons une bibliothèque de contenu avec un ensemble de 100 fichiers populaires. La popularité des fichiers suit une distribution Zipf du paramètre  $\alpha = 0,8$ , pareil comme il a été utilisé dans [87].  $P^t = 10^{-4}W$  est la puissance de transmission des fichiers d'un CP [44].  $\mu = 1$  C'est l'unité de coût de transmission [44].

Les principaux paramètres de simulation sont résumés dans le tableau 5.1 :

### 5.4 Expérimentation

Dans cette section, nous présentons les différentes expérimentations que nous avons utilisées pour réaliser les simulations des deux politiques proposées dans le chapitre précédent. Nous commençons par présenter l'interface de notre application **MATLAB**. Ensuite, nous décrirons les expérimentations de la théorie des contrats puis de jeu de type Stackelberg. Enfin nous terminons par une comparaison entre les deux modèles.

Paramètre	Description	Valeur
$\mathcal{C}$	Le nombre de CP.	8
$\mathcal{T}$	Le nombre de PTC.	1 pour la théorie des contrats 3 pour le jeu de type Stackelberg
$\mathcal{V}$	Le nombre de véhicule.	50
$\mathcal{F}$	Le nombre de fichiers.	100
$\gamma$	La popularité de distribution Zipf.	0,8
$S$	La capacité maximale de cache d'un PTC.	500GO
$P^t$	La puissance de transmission d'un fichier de CP.	$10^{-4}W$
$\mu$	L'unité de coût de transmission.	1
$\eta_k$	Le cout d'énergie d'un PTC.	0.5

Table 5.1: Paramètres de simulation

### 5.4.1 Présentation de l'interface d'application

Dans ce qui suit une présentation des captures écrans d'interfaces de notre application.

La figure 5.1 présente l'interface principale de notre application. A travers cette fenêtre l'utilisateur peut choisir l'expérimentation qu'il veut pour commencer à utiliser l'application. La fenêtre contient un espace réservé pour afficher les résultats de simulation. figure 5.1

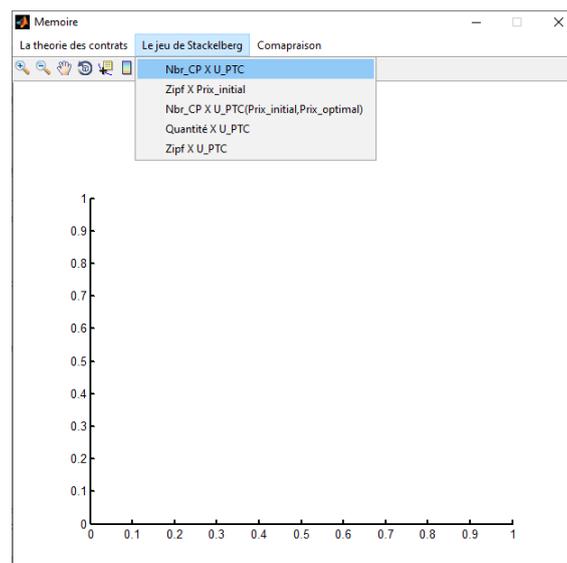
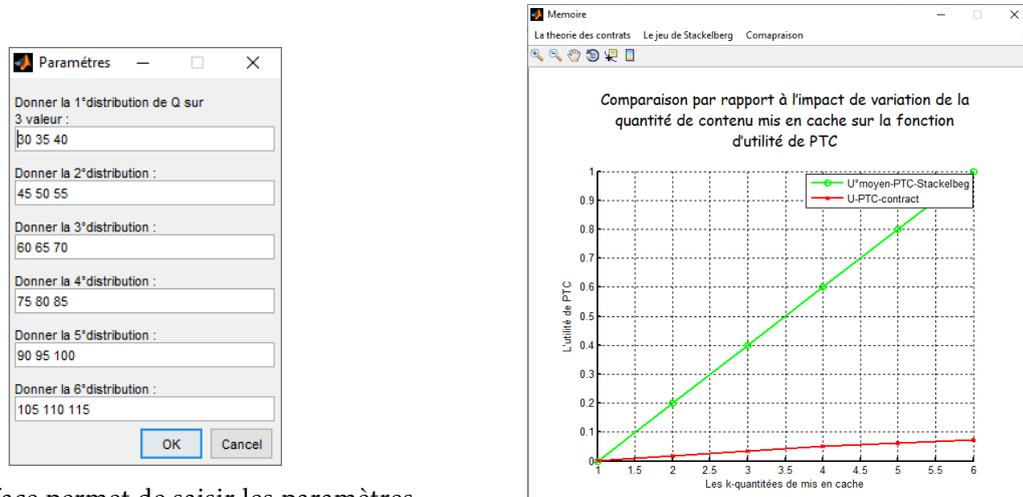


Figure 5.1: L'interface principale d'application sur MATLAB.

Sur cette interface (figure 5.2), l'utilisateur doit saisir les paramètres de simulation, puis cliquer sur le bouton "ok" pour afficher les résultats.



(a) L'interface permet de saisir les paramètres de simulation.

(b) Les résultats finaux.

Figure 5.2: Les étapes d'atteindre les résultats de simulation.

#### 5.4.2 Etude des performances de la politique de mise en cache monopoliste basée sur la théorie des contrats

Nous étudions dans cette sous-section les expérimentations suivantes :

1. L'utilité du CP avec contrat conçu pour chaque type de CP (étude de faisabilité de contrat).
2. L'impact de type de (CP) sur son utilité de mise en cache avec le contrat conçu pour chaque type de CP.
3. L'impact de types de (CP) sur l'utilité de (PTC).
4. L'impact de nombres des types (CPs) sur l'utilité de (PTC).
5. L'impact de la quantité de contenu mis en cache sur la fonction d'utilité d'un (PTC) pour différents type de CP ( $\theta_i$ ).

### 5.4.2.1 Etude de la faisabilité de contrat : l'utilité du CP avec contrat conçu pour chaque type de CP

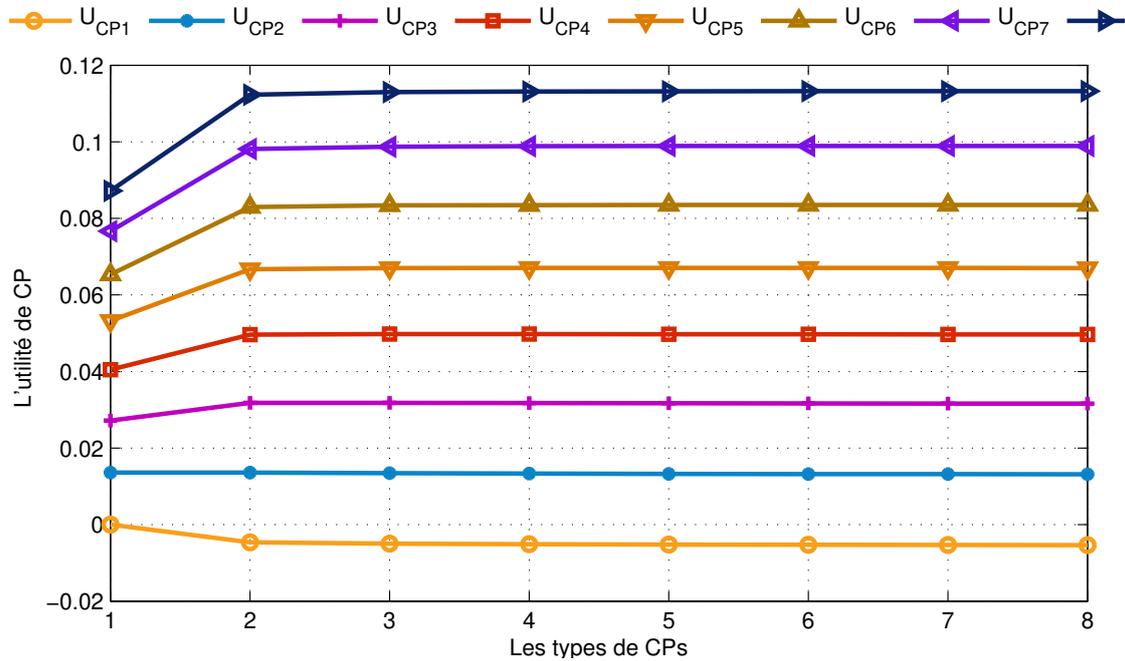


Figure 5.3: L'utilité du CP avec contrat conçu pour chaque type de CP.

Dans un premier temps, nous vérifions la faisabilité de notre contrat. La figure 5.3 montre l'utilité des CP lorsque CP sélectionne le contrat conçu par le PTC pour chaque type. Dans cette première expérimentation, nous avons fixé la taille des fichiers de tous les CP, et nous avons changé la distribution de popularité du fichier pour chaque CP, ce qui entraîne un changement dans le type de CP (voir l'équation 7). Puis nous avons calculé le contrat optimal pour chaque type et nous étudions l'utilité de chaque CP avec tous les contrats.

Les résultats dans la figure 5.3 démontrent qu'un CP obtient une utilité maximale lorsque ce CP choisit le contrat conçu pour son type, qui convient à l'état IC de la conception du contrat équation (16). Si un CP sélectionne le contrat conçu pour un type élevé, même s'il reçoit plus d'espace de cache, le profit de la mise en cache ne peut pas compenser le paiement à PTC. De plus, si un CP sélectionne un contrat destiné à un type bas, bien que moins de paiement à PTC, moins d'espace de cache qu'il obtient (lemme 2 et 3). Donc le CP peut recevoir l'utilité maximale si et seulement s'il sélectionne le contrat qui correspond le mieux à sa préférence. Nous pouvons également observer à partir de la figure 5.3 qu'avec le même contrat, l'utilité de CP du type 8 est plus grande que les autres types de CP, ce qui indique que le plus le type CP est élevé, plus l'utilité qu'il obtiendra. De plus, lorsque le CP choisit son contrat optimal, il s'assure que son utilité est positive, comme c'est le cas pour le premier CP. Lorsque l'on choisit des contrats inappropriés, leur utilité est négative et c'est ce qui permet d'obtenir l'équation (15). Ce résultat est une preuve de la définition 4.1 et 4.2.

Afin de vérifier que le problème d'information asymétrique dans la scène a été résolu, nous pouvons voir dans la figure 5.3 que le CP ne peut atteindre l'utilité maximale qu'en sélectionnant l'élément de contrat du type correspondant. C'est ce qui pousse chaque CP à exploiter leurs informations privées.

#### 5.4.2.2 L'impact de la variation des types de CP sur l'utilité de mise en cache de CP avec le contrat conçu pour chaque type de CP

Dans l'expérimentation illustrée à la figure 5.4, nous étudions l'impact de la variation du type de CP sur l'utilité de mise en cache de CP.

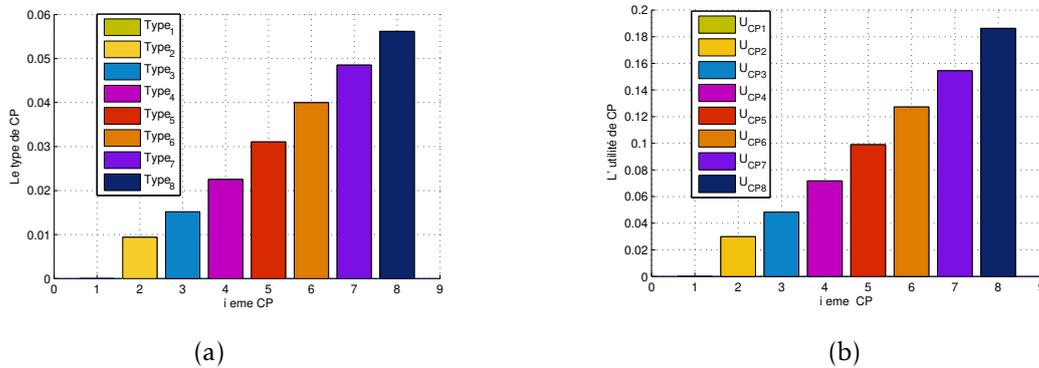


Figure 5.4: L'impact de type de CP sur l'utilité de mise en cache de CP.

Dans cette évaluation, nous changeons à chaque fois la popularité des fichiers de chaque CP et nous calculons les valeurs  $\theta_i$  des types de CPs (figure 5.4 (a)), puis nous calculons l'utilité de chaque type de CP (figure 5.4(b)) lorsque ce CP sélectionne le contrat optimal conçu par le PTC pour son type.

Les résultats obtenus montrent que, lorsque le CP choisit le contrat optimal conçu pour son type, l'utilité du CP augmente selon ce type. Comme dans la figure 5.4 (a) par exemple les CPs 6,7,8 des types 0.069,0.072,0.078 (figure 5.4(a)) reçoivent respectivement les utilités 0,139,0.159 et 0.172 (figure 5.4 (b)). En effet, lorsque le type  $\theta$  de CP augmente, les préférences des utilisateurs envers le CP sera plus grande, le PTC donc fourni un contrat avec une quantité de mise en cache plus élevée pour ce CP pour gagner plus de récompense monétaire (lemme 2). Par conséquent la récompense du CP augmentera (voir l'équation 13). Tout ce qui précède les arguments contribuera à l'amélioration d'utilité de CP (voir l'équation 14). Ce qui satisfait la condition de monotonie de l'équation (24), dans lequel le type de CP supérieur obtiendra une utilité supérieure.

### 5.4.2.3 L'impact de types des CPs sur l'utilité de PTC

Dans la figure 5.5, nous étudions l'impact de la variation de types de CP sur l'utilité du PTC.

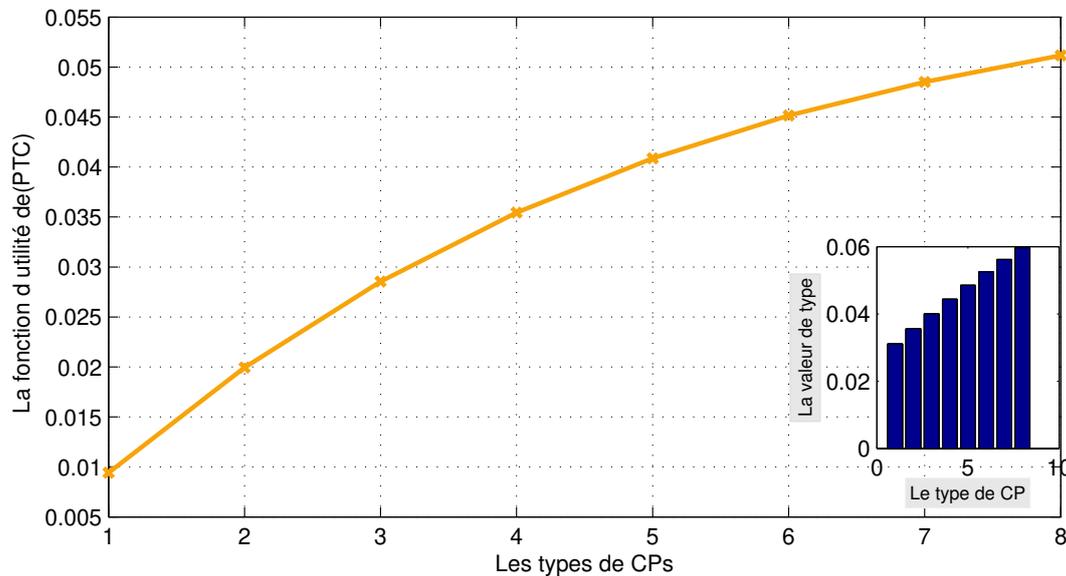


Figure 5.5: L'impact de type de CP sur l'utilité de PTC.

Les résultats obtenus montrent que plus le type des fournisseurs de contenu (CPs) augmente, l'utilité du PTC augmente. En fait, l'augmentation des valeurs de type de fournisseurs de contenu (CPs) est due à l'augmentation de la popularité de leur contenu (référer à l'équation 7), ce qui créera une concurrence accrue entre les CPs sur l'espace de stockage limité des véhicules afin d'améliorer la qualité d'expériences de leurs utilisateurs et par conséquent réalisera plus de bénéfice. Le PTC profite de cette situation de manque des ressources de mise en cache et peut augmenter le prix ce qui va contribuer à l'amélioration de son gain et par la suite de son utilité (référer aux équations 37 et 42).

### 5.4.2.4 L'impact de nombre des types de CP sur l'utilité de PTC

La figure 5.6 montre l'étude de l'impact de la variation de nombre des types de CP sur l'utilité de PTC. Dans cette expérimentation nous augmentant à chaque fois le nombre des types de CPs (4, 6 et puis 8) et nous étudions le changement de l'utilité de PTC.

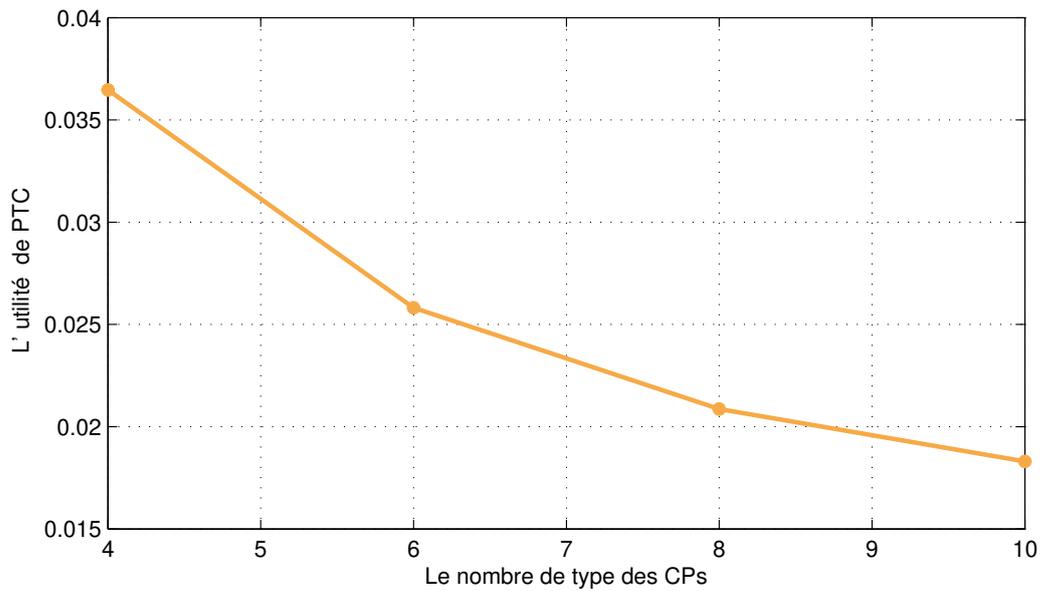


Figure 5.6: L'impact de nombre de types des (CPs) sur l'utilité de (PTC).

Nous observons que plus il y a des types, plus l'utilité de PTC diminue. Cela peut être justifié par la raison suivante, lorsque le nombre des types augmente, la quantité de mise en cache de chaque type est augmentée. Par conséquent, le coût de stockage en cache (l'énergie pour gérer les différents accès aux fichiers stockés dans les caches des véhicules) va augmenter (référez-vous à l'équation 9) ce qui va affecter négativement sur l'utilité de ce PTC, voir l'équation (11).

#### 5.4.2.5 L'impact de la variation de la quantité de contenu mis en cache ( $Q$ ) sur la fonction d'utilité d'un PTC pour différents type de CP ( $\theta_i$ )

Dans la figure 5.7, nous étudions l'impact de la variation de la quantité de contenu en cache ( $Q$ ) sur l'utilité du PTC pour trois types de CPs où  $\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3$ .

Les résultats de la figure 5.7 montrent que l'utilité du PTC augmente avec l'augmentation de la quantité mise en cache de contenu des CPs et qu'une utilité supérieure correspond à un type supérieur. En effet, lorsque la quantité mise en cache augmente et la popularité de CP aussi augmente, le prix augmente, le CP doit payer un coût de mise en cache plus élevé (référer à l'équation 38), le PTC donc obtiendra plus de revenus monétaires contribuant à l'amélioration de son gain (référer à l'équation 42).

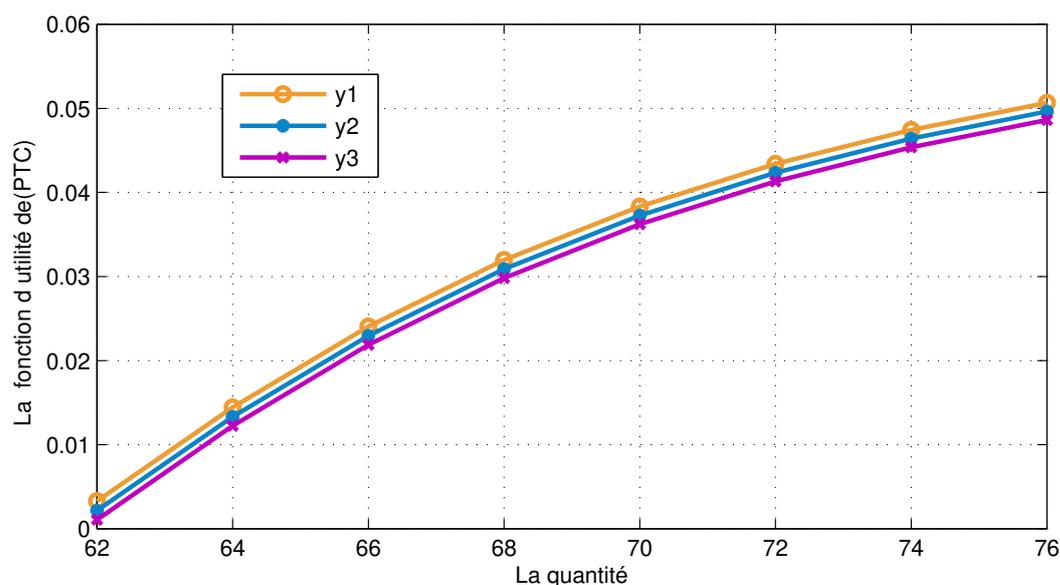


Figure 5.7: L'impact de la quantité de contenu mis en cache ( $Q$ ) sur la fonction d'utilité d'un (PTC).

#### 5.4.3 Etude des performances de la politique de mise en cache compétitive basée sur le jeu de type de Stackelberg

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats des expérimentations suivants :

1. L'impact de la variation de nombre de suiveurs (CPs) sur l'utilité de mise en cache d'un leader ( PTC ).
2. L'impact de la variation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur le prix initial ( $\pi_i$ ) de mise en cache pour différentes quantités de fichiers.
3. L'impact de la variation du prix optimal ( $\pi_i^*$ ) sur la fonction d'utilité du leader ( PTC ).
4. L'impact de la quantité de contenu en cache ( $Q_{ij}$ ) sur la fonction d'utilité d'un leader (PTC) pour différents prix de mise en cache ( $\pi_i$ ).
5. L'impact de la variation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de leader ( PTC ).

##### 5.4.3.1 L'impact de la variation de nombre de suiveurs (CPs) sur l'utilité de mise en cache d'un leader ( PTC )

Dans la figure 5.8, nous avons étudié l'impact de l'augmentation de nombres des suiveurs (CPs) sur l'utilité d'un leader (PTC).

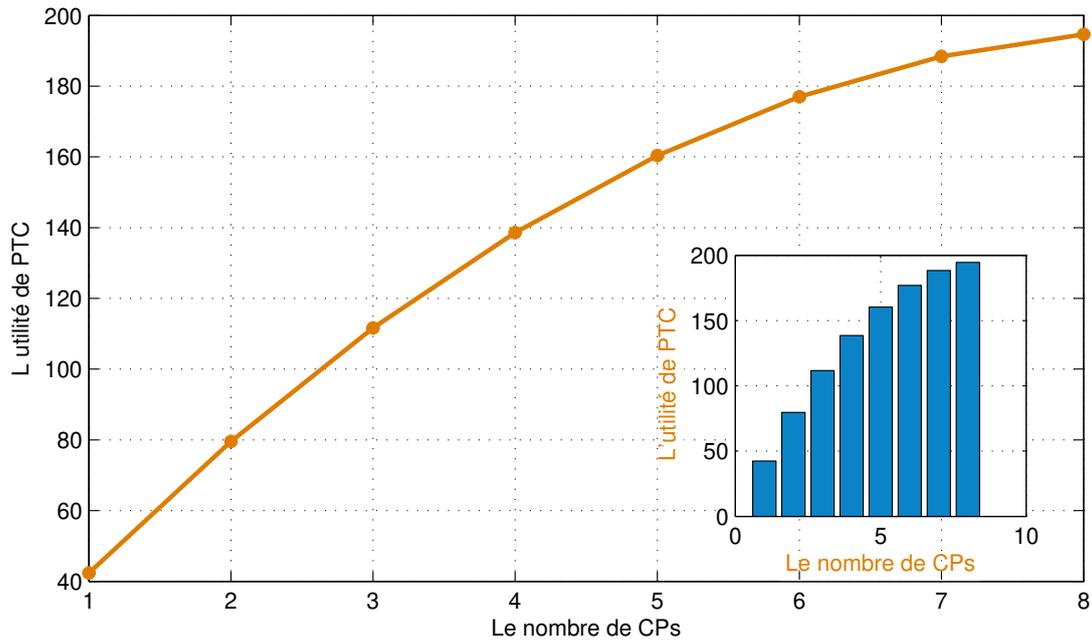


Figure 5.8: L'impact de nombre de suiveurs (CPs) sur l'utilité de mise en cache des leaders (PTCs).

Nous observons, à partir des résultats dans la figure 5.8 que l'utilité du leader PTC augmente avec le nombre de fournisseurs de contenu (CP). À mesure que le nombre de CPs, la quantité de l'ensemble de contenu populaire proposée en mise en cache va augmenter également et le prix aussi à cause de la concurrence sur l'espace de stockage en cache limité, (il convient de noter que dans cette expérimentation tous les CPs ont le même taux de popularité  $\gamma = 5$  pour leur contenus et une puissance de transmission égale à  $P^t = 10$ ). Cela va contribuer à générer pour le leader (PTC) plus de revenus monétaires en contribuant à l'amélioration de son gain et par la suite de son utilité, référer à l'équation (71).

#### 5.4.3.2 L'impact de la variation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur le prix initial ( $\pi_i$ ) de mise en cache pour différentes quantités de fichiers

Dans la figure 5.9, nous avons étudié l'impact de la popularité du contenu de CP sur le prix initial de mise en cache ( $\pi_i$ ) annoncé par le PTC pour différentes quantités de contenu populaires.

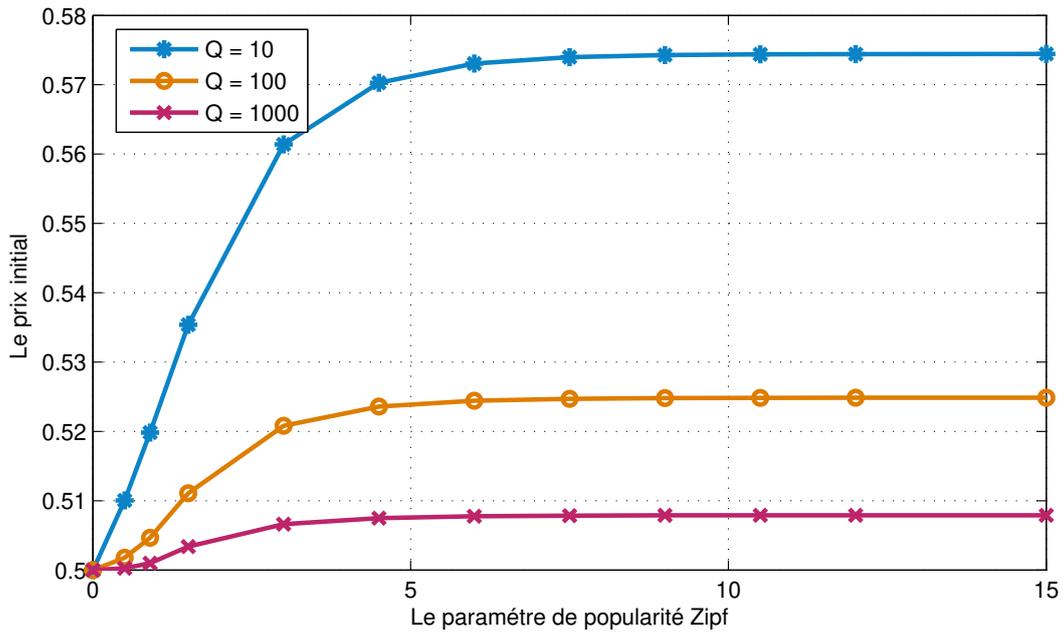


Figure 5.9: L'impact du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur le prix de mise en cache initial ( $\pi_i$ ) pour différentes quantités de contenu populaire.

Les résultats dans la figure 5.9 montrent clairement que la valeur du prix initial augmente avec l'augmentation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) (taux de la popularité). Cela peut s'expliquer principalement par le fait qu'une valeur plus élevée de  $\gamma$  signifie que de la quantité de contenu du CP annoncée pour la mise en cache correspond aux fichiers les plus populaires du point de vue des utilisateurs finaux. Ainsi, le PTC va donc facturer un prix initial plus élevé pour stocker dans son cache ces contenus afin de compenser l'énergie supplémentaire nécessaire pour gérer l'augmentation de la charge du trafic et les interférences, voir les équations (6), (71-67) et (68).

Il est également à noter que le facteur quantité des contenus annoncés pour la mise en cache a un effet défavorable sur le prix, car pour une même valeur ( $\gamma$ ), la valeur du prix pratiquée diminue en augmentant la quantité de fichiers stockés (10, 100 et 1000 dans cette expérimentation), voir les équations (6) et (69). Lorsque la quantité de contenu proposé pour la mise en cache augmente avec une même popularité, notre modèle qui s'appuie sur l'écart type pour le calcul de la popularité, et lorsque on a un grand nombre de fichiers, l'écart type va diminuer, référer à l'équation (68).

### 5.4.3.3 L'impact de la variation du prix optimal ( $\pi_i^*$ ) sur la fonction d'utilité du leader ( PTC )

Dans l'expérimentation illustrée à la figure 5.10, nous étudions l'impact de la variation du prix optimal sur la fonction d'utilité de leader (PTC) par rapport à celui de prix initial annoncé au début de jeu, cela pour différent nombre des CPs.

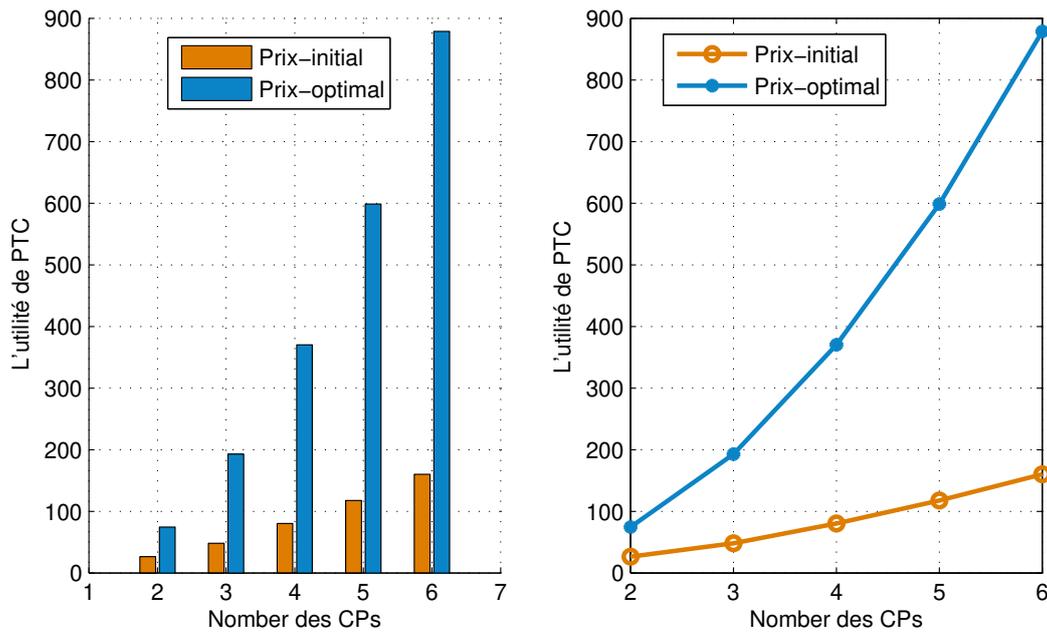


Figure 5.10: L'impact du prix optimal ( $\pi_i^*$ ) sur la fonction d'utilité du leader ( PTC ).

Nous observons à partir des résultats que l'utilité du leader (PTC) augmente avec le nombre de fournisseurs de contenu (CPs). L'interprétation a été déjà expliquée dans l'expérimentation 5.4.3.1. Aussi, il est clair que l'utilité augmente de manière plus importante lorsqu'elle est calculée à la base de prix optimal (i.e., utilité finale). Cela peut être justifié par le fait qu'au premier stage de notre jeu, l'utilité est calculée sur la base de prix initial. Ce dernier est principalement estimé sur la base de la popularité des fichiers proposés pour la mise en cache, référer à l'équation (68). Par contre, l'utilité finale, calculée une fois le point d'équilibre est atteint, est estimée sur des valeurs plus réels résultats de la collaboration entre les joueurs (prix optimal) et qui considèrent d'autres paramètres de systèmes tels que l'espace disponible pour la mise en cache et la compétition entre les CPs.

#### 5.4.3.4 L'impact de la quantité de contenu en cache ( $Q_{ij}$ ) sur la fonction d'utilité d'un leader ( PTC ) pour différents prix de mise en cache ( $\pi_i$ )

Dans la figure 5.11 nous nous concentrons sur un leader (PTC) et nous étudions l'impact de la variation de la quantité de contenu en cache ( $Q_{ij}$ ) sur l'utilité du leader (PTC) pour différents prix de mise en cache ( $\pi_i$ ).

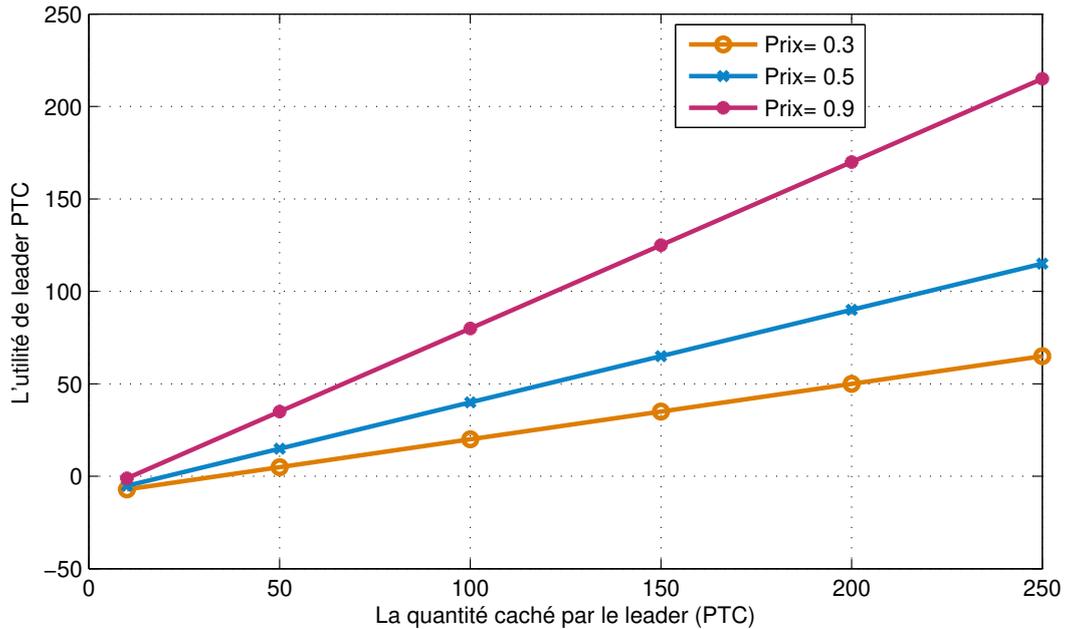


Figure 5.11: L'impact de la quantité de contenu en cache ( $Q_{ij}$ ) sur la fonction d'utilité d'un leader ( PTC ) pour différents prix de mise en cache ( $\pi_i$ ).

Les résultats de la figure 5.11 montrent clairement que l'utilité du leader (PTC) augmente avec l'augmentation de la quantité mise en cache et qu'une utilité supérieure correspond à un prix de mise en cache supérieur. En effet, à mesure que la quantité mise en cache augmente, le leader obtiendra plus de revenus monétaires contribuant à l'amélioration de son gain. En outre, il est clair que lorsque le prix de la mise en cache augmente, la récompense monétaire de leader (PTC) augmente pour la même quantité mise en cache et son utilité sera donc améliorée, voir les équations (67), (68) et (71).

#### 5.4.3.5 L'impact de la variation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de leader ( PTC )

Dans la figure 5.12, nous avons examiné l'impact de la variation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de leader (PTC).

Les résultats dans la figure 5.12 montrent clairement que l'utilité de PTC augmente avec

l'augmentation du paramètre de paramètre Zipf de la popularité( $\gamma$ ) (taux de la popularité). Cela peut s'expliquer principalement par le fait qu'une valeur plus élevée de  $\gamma$  signifie qu'une plus grande partie du contenu de CP annoncé pour la mise en cache correspond à des fichiers plus populaires, référer à (6) et (69).

À mesure que la popularité du contenu augmente, cela va causer une augmentation du prix pour compenser les coûts. Aussi il peut générer plus de contenu populaire à proposer pour la mise en cache. Tout cela va contribuer à l'amélioration du prix de mise en cache et par la suite l'amélioration du gain de PTC. Ce qui va améliorer son utilité, référer à (67), (68) et (71).

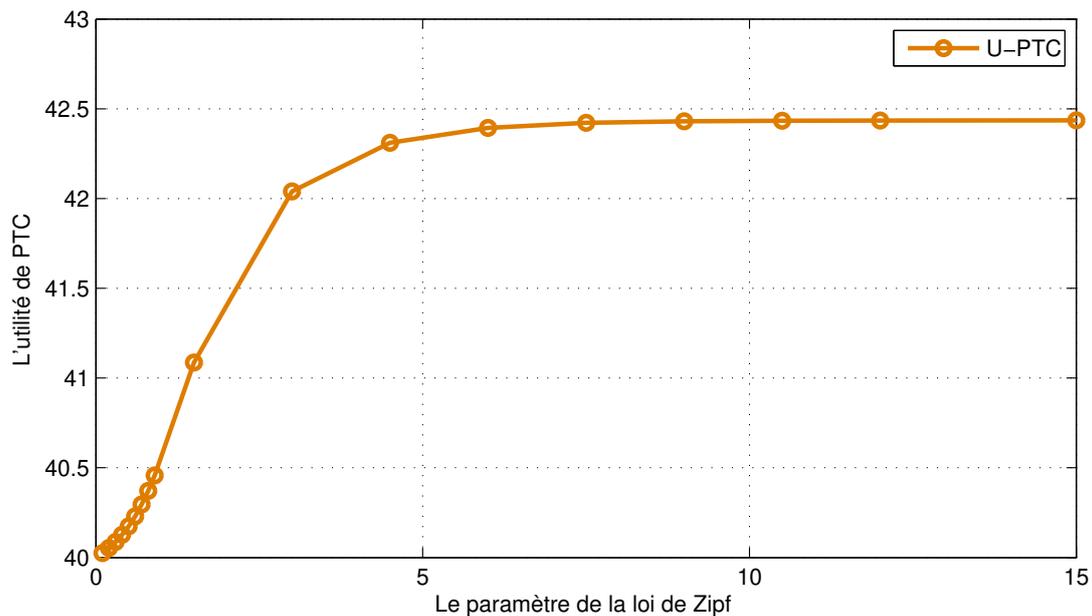


Figure 5.12: L'impact du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de leader (PTC).

#### 5.4.4 Etude comparative de nos deux modèles d'incitation à la mise en cache : le modèle compétitif basé sur le jeu de Stackelberg et le modèle monopoliste basé sur la théorie des contrats

Dans cette sous-section, nous comparons les deux politiques ci-dessus :

##### 5.4.4.1 Comparaison par rapport à l'impact de variation de la quantité de contenu mis en cache sur la fonction d'utilité de PTC

Dans l'expérimentation illustrée à la figure 5.13 , nous étudions l'impact de la variation de la quantité mise en cache ( $Q$ ) sur l'utilité des PTC dans les deux cas : un marché monopoliste

basé sur la théorie des et un marché concurrentiel basé sur le jeu de Stackelberg illustré à la figure 5.13(a).

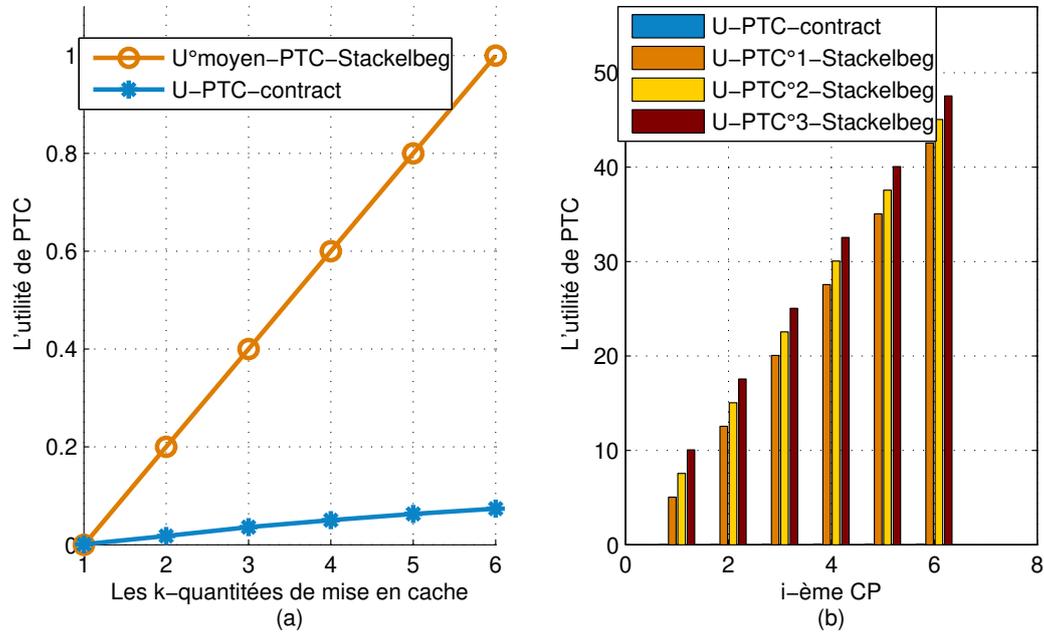


Figure 5.13: Comparaison à la base de l'impact de la quantité de contenu mise en cache sur la fonction d'utilité du PTC.

Dans cette évaluation, nous fixons le nombre des fichiers et les popularités des fichiers de chaque CP et nous changeons à chaque fois la quantité de mise en cache des CPs des deux modèles (le modèle basé sur le contrat et le modèle basé sur le jeu de Stackelberg).

Cependant, dans le modèle basé sur les contrats, la mise en cache est effectuée avec un seul PTC, par contre dans le modèle Stackelberg nous avons utilisé trois PTCs pour la mise en cache où chaque CP distribue ses fichiers populaires sur les trois PTCs. Puis nous calculons l'utilité des PTCs de chaque politique avec chaque PTC dans la figure 5.13(b). La figure 5.13 (a) montre l'utilité **moyenne** de mise en cache de modèle compétitif et l'utilité de mise en cache de modèle monopoliste.

D'après les résultats illustrés à la figure 5.13 (b), nous pouvons clairement observer que l'utilité du PTC augmente avec l'augmentation de la quantité mise en cache pareil dans les deux modèles (Contrat et Stackelberg). En effet, dans les scénarios de mise en cache compétitifs (figure 5.13 (a)) l'utilité de PTC est plus grande que dans le marché monopoliste. En effet, lorsque la quantité de mise en cache augmente, le prix de la mise en cache augmente à cause de la concurrence sur l'espace de stockage en cache limité. De plus, il est évident que lorsque le prix de mise en cache augmente, la récompense monétaire de l'adepte augmente et son utilité sera donc amélioré, voir les équations (67) et (71).

#### 5.4.4.2 Comparaison par rapport à l'impact du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de leader (PTC)

Dans l'expérimentation illustrée à la figure 5.14, nous comparons nos deux modèles (compétitif et monopoliste) en étudiant l'impact de la variation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de PTC

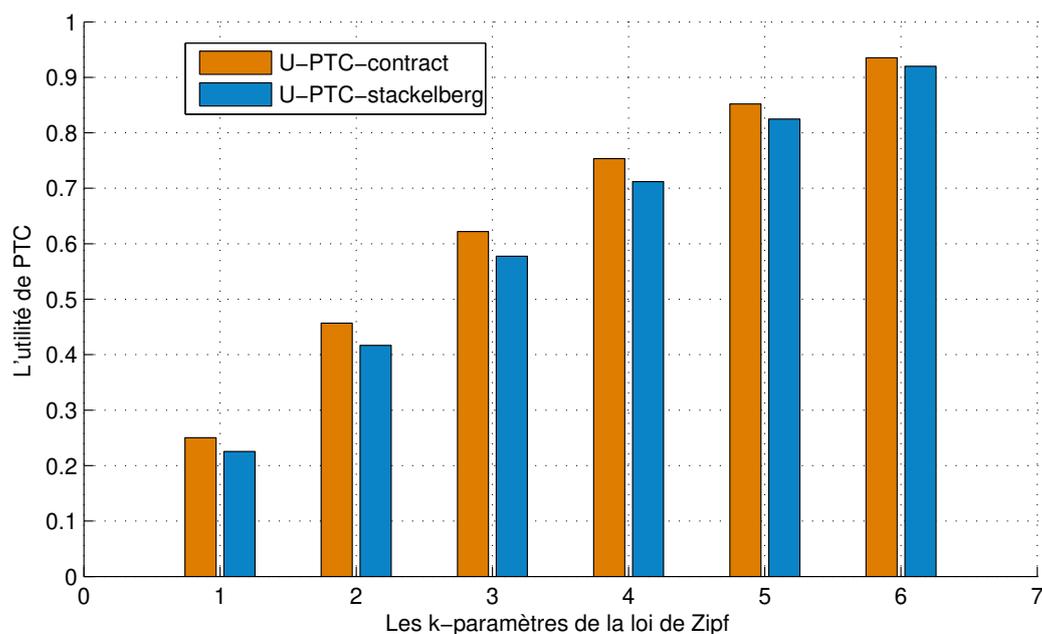


Figure 5.14: Comparaison à la base de l'impact du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) sur la fonction d'utilité de leader ( PTC ).

Les résultats obtenus montrent clairement que l'utilité de PTC augmente avec l'augmentation du paramètre de popularité Zipf ( $\gamma$ ) dans les deux approches : contrat et Stackelberg. Cela peut être expliqué par le fait qu'une valeur plus élevée de  $\gamma$  signifie qu'une plus grande partie du contenu de CP annoncé pour la mise en cache correspond à des fichiers plus populaires. Par conséquent, le PTC facturera un prix correspondant à ce niveau de popularité pour compenser le coût, référer à (6), (71) et (11). Il en résultera une augmentation des revenus monétaires qui contribuera à l'amélioration de ses gains.

Noter que la valeur de l'utilité de PTC obtenu dans l'approche Contrat est plus grande que la valeur de l'approche Stackelberg. Ceci est dû au fait que la valeur provient d'un marché monopolistique où un seul PTC obtiendra tous les revenus monétaires, par contre, dans le scénario Stackelberg nous sommes confrontés à un marché concurrentiel où plusieurs PTCs participent à la mise en cache et sont obligées de partager en quelque sorte les revenus obtenus pendant le jeu.

## 5.5 Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à l'implémentation et l'évaluation des performances de notre politique de l'incitation à la mise en cache dans les réseaux d'internet de véhicules ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. Les résultats ont démontré que les acteurs de mise en cache (PTCs et CPs) peuvent atteindre des utilités optimales et permettent d'avoir une mise en cache plus efficace. Aussi, Les résultats de simulation ont démontré que notre modèle basé sur la théorie des contrats et le jeu de type Stackelberg permet d'améliorer la QoE des utilisateurs finaux et contribuer à la diminution du coût de mise en cache.

# Conclusion générale

L'une des plus prometteuses technologies qui suscite tant d'intérêt dans le domaine des systèmes de transport intelligents (STI) est l'internet des véhicules (Internet of Vehicles, IoV). L'IoV est une vague émergente qui fait converger la technologie d'Internet des objets (Internet of Thing, IoT) vers les réseaux de véhicules pour bénéficier d'une connectivité Internet omniprésente et améliorer les performances des STIs. Cependant, les réseaux de véhicules souffrent de beaucoup de problèmes à cause de l'augmentation du trafic de données mobile et la surcharge des liaisons backhails. En déplaçant le contenu populaire vers des nœuds proches de l'utilisateur final, la technique de mise en cache, *caching* en anglais, a été proposée comme une solution innovante pour résoudre ce problème. Malgré les divers avantages de la mise en cache, des mécanismes de motivation et d'incitation doivent être développés afin d'encourager les acteurs à participer plus efficacement pour améliorer le processus de mise en cache.

Le travail que nous avons mené dans ce mémoire vise à résoudre le problème d'augmentation du trafic de données mobiles dans l'IoV. Nous avons proposé une nouvelle politique d'incitation à la mise en cache composée de plusieurs fournisseurs de contenu (Content Provider, CPs) qui possèdent un ensemble de contenu populaire et souhaitent le rapprocher des utilisateurs finaux dans le but d'améliorer la qualité d'expériences de ces derniers, et de plusieurs sociétés de transports en commun des voyageurs (Public Transport Company , PTCs) qui possèdent des mémoires caches embarqués sur leurs véhicules mobiles. Les PTCs proposent de louer l'espace de stockage de leurs caches embarqués sur les véhicules aux CPs dans le but de rentabiliser les caches et gagner plus de profit monétaire. Dans notre politique de mise en cache, les CPs et les PTCs interagissent et coopèrent pour améliorer les performances de processus de mise en cache. Pour cela, nous avons formulé deux modèles de système d'incitation à la mise en cache selon la symétrie des informations sur la popularité des fichiers fournies par les CPs.

Dans le premier modèle, nous avons utilisé la théorie des contrats pour modéliser le problème d'incitation à la mise en cache avec des informations asymétriques entre un PTC et plusieurs CPs. Nous avons regroupé les CPs en plusieurs types selon la popularité de leurs fichiers. Après, le PTC va formuler des contrats spécifiques pour chaque type de CP.

Dans le deuxième modèle, nous avons utilisé un jeu du type Stackelberg avec plusieurs leaders et plusieurs suiveurs pour modéliser un modèle dans un environnement avec information symétrique. Dans ce modèle, plusieurs PTCs vont agir en premier comme des leaders pour encourager les CPs à venir stocker leurs contenus populaires sur les caches embarqués par les véhicules mobiles. Après, les CPs vont réagir comme des suiveurs en répondant avec la quantité des fichiers qu'ils veulent stocker en cache. À cause de la taille d'espace limité des caches, les CPs vont entrer en compétition sur cette ressource critique. Cette interaction est formulée par un jeu non coopératif.

Nous avons évalué les performances de nos deux modèles sous plusieurs expérimentations. Les résultats obtenus par les simulations ont démontré que nos deux modèles basés sur la théorie de contrat et le jeu du type Stackelberg permettent aux CPs et PTCs atteindre des utilités optimales et aussi permettent d'avoir une mise en cache plus efficace.

En guise de conclusion, nous pouvons dire que les prochaines études sur les problèmes d'incitation à la mise en cache doivent considérer des marchés de mise en cache plus réaliste avec plusieurs acteurs rationnels qui sont en constante compétition sur les ressources de mise en cache. De plus, d'explorer de nouveaux endroits plus performants pour placer les caches et servir mieux les utilisateurs finaux. Il est aussi primordial de considérer la non disponibilité de tous les paramètres de mise en cache tout le temps et le non honnêteté des acteurs dans un système de mise en cache à information asymétrique.

Comme perspective future, nous souhaitons améliorer notre modèle d'incitation compétitif et par la suite notre jeu de Stackelberg avec cette fois la considération de la compétition entre les CPs sur l'espace de stockage limité des PTCs en utilisant des paramètres de modélisation plus avancés comme l'espace de stockage global des caches. Nous pensons aussi que ça serait intéressant, si on étudie le problème de sens inverse, quand les CPs encouragent les PTCs à déployer des caches et stocker leurs contenus populaires.

# Bibliographie

- [1] MERAIHI Yassine. *Qualité de service dans les réseaux sans fil maillés/Vanet*. PhD thesis, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2016.
- [2] Ahmed Alioua, Sidi-Mohammed Senouci, Hichem Sedjelmaci, and Samira Moussaoui. Incentive edge caching in software-defined internet of vehicles: A stackelberg game approach. *International Journal of Communication Systems*, 32(17):e3787, 2019.
- [3] Tra Huong Thi Le, Nguyen H Tran, Phuong Luu Vo, Zhu Han, Mehdi Bennis, and Choong Seon Hong. Contract-based cache partitioning and pricing mechanism in wireless network slicing. In *GLOBECOM 2017-2017 IEEE Global Communications Conference*, pages 1–6. IEEE, 2017.
- [4] Junni Zou, Chenglin Li, Congcong Zhai, Hongkai Xiong, and Eckehard Steinbach. Joint pricing and cache placement for video caching: a game theoretic approach. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 37(7):1566–1583, 2019.
- [5] Fangchun Yang, Jinglin Li, Tao Lei, and Shangguang Wang. Architecture and key technologies for internet of vehicles: a survey. *Journal of Communications and Information Networks*, 2, 06 2017.
- [6] ALIOUA Ahmed. *Intégration du Software-Defined Networking (SDN) dans les réseaux de véhicules (VANETs)*. PhD thesis, UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENNE, 2019.
- [7] INES Cillill. Étude de l'attaque « black hole » sur le protocole de routage vadd (vehicule-assisted data delivery). Master's thesis, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, JUILLET 2017.
- [8] Rejab HAJLAOUI. *Résolution à base d'heuristiques du problème de routage dans les réseaux ad hoc de véhicules*. PhD thesis, L'UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ, 18 décembre 2018.
- [9] KAHINA MOGHRAOUI. *Gestion de l'anonymat des communications dans les réseaux véhiculaires ad hoc sans fil (vanets)*. Master's thesis, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, 2015.

- 
- [10] M. Abdelwahab BOUALOUACHE. *SÉCURITÉ ET VIE PRIVÉE DANS LES RÉSEAUX VÉHICULAIRES*. PhD thesis, UNIVERSITE HOUARI BOUMEDIENE, 15/12/2016.
- [11] Christian TCHEPNDA. *Authentification dans les Réseaux Véhiculaires Opérés*. PhD thesis, Ecole Doctorale d'informatique de Paris, 18 Décembre 2008.
- [12] Hadjer BOUZEBIBA and Yasmina BOUIZEM. Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux vanet (v2v). Master's thesis, Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen, JUILLET 2015.
- [13] Salim Allal. Optimisation des échanges dans le routage géocast pour les réseaux de véhicules ad hoc vanets. Master's thesis, Université Paris 13, 2014.
- [14] KHALID ANOUAR, Mohamed Talea, and EL Habib Benlahmar. Étude de la qualité de service dans les réseaux vanet. In *La deuxième journée sur les Technologies d'Information et de Modélisation TIM'14*, 05 2014.
- [15] M. JERBI. *Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections*. PhD thesis, UNIVERSITE D'EVRY VAL D'ESSONNE, 2008.
- [16] Kahina Ait Ali. *Modélisation et étude de performances dans les réseaux VANET*. PhD thesis, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2012.
- [17] Ieee standard for wireless access in vehicular environments (wave) networking services. In *IEEE Std 1609.3-2010 (Revision of IEEE Std 1609.3-2007)*, page 1–144, 2010.
- [18] Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks– specific requirements part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. In *IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007)*, page 1–2793, 2012.
- [19] Abdennour Zekri and Weijia Jia. Heterogeneous vehicular communications: A comprehensive study. *Ad Hoc Networks*, 75:52–79, 2018.
- [20] Hatem Abou-Zeid, Farhan Pervez, Abdulkareem Adinoyi, Mohammed Aljlayl, and Halim Yanikomeroğlu. Cellular v2x transmission for connected and autonomous vehicles standardization, applications, and enabling technologies. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 8(6):91–98, 2019.
- [21] Sibaram Khara Indu. Internet of vehicles (ioV): Evolution, architectures, security issues and trust aspects. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN*, pages 2277–3878, 2019.
- [22] Matthew N. O. Sadiku, Mahamadou Tembely, and Sarhan M. Musa. Internet of vehicles: An introduction. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 8(1):11–13, 2018.