

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

ⵜⴰⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵖⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵣⵣⴰⵢⵔⵉⵜ

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

ⵎⴰⵎⴻⵔ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵖⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵣⵣⴰⵢⵔⵉⵜ

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ECOLE NATIONALE  
SUPÉRIEURE  
D'INFORMATIQUE

المدرسة الوطنية العليا للإعلام الآلي  
ⵎⴰⵎⴻⵔ ⵜⴰⵎⴳⴷⴰⵢⵜ ⵜⴰⵖⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵣⵣⴰⵢⵔⵉⵜ  
École nationale Supérieure d'Informatique

## Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Informatique

Option : Systèmes Informatiques et Logiciels (SL)

### Thème :

Fourniture de services au Edge Computing basés sur les politiques ODRL

Réalisé par :

- DIREM Dalal

Encadré par :

- Mme. BENNA Amel (CERIST, Alger)
- M. MAAMAR Zakaria (UDST, Qatar)
- Mme. BENBOUDJEMA Dalila (ESI, Alger)

Organisme d'accueil : CERIST

Promotion : 2022/2023

---

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*À l'âme de mon cher père et à ma merveilleuse mère, mes piliers de force et mes sources de motivation, ceux qui m'ont soutenu inconditionnellement et ont sacrifié tant de choses pour me voir réussir, mes reconnaissances pour vous sont au-delà de tout ce que je pourrais exprimer par des mots.*

*À mon cher frère Nadjmeddine, mes adorables sœurs Meriem et Hadjira, et mes nièces bien-aimées Célia et Iline qui ont été ma source de bonheur et de réconfort.*

*À mes amies Chaima, Maïssa, Sarra, Asma, et tous ceux avec qui j'ai partagé les joies et les défis de ces longues années d'études.*

*À moi-même pour avoir surmonté tous pour arriver à ce moment.*

---

# Remerciements

Tout d'abord, je commence par remercier et rendre gratitude à **Allah le tout-puissant**, de m'avoir mené dans ce chemin de savoir et de m'avoir doté de la force, le courage, la patience et de la santé pour compléter ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à mes promoteurs **Madame BENNA Amel** et **Monsieur MAAMAR Zakaria** pour leur disponibilité, leurs orientations précieuses, leur encouragement, et pour le temps et les efforts qu'ils ont investi pour me permettre d'accomplir ce travail.

Je tiens aussi à remercier mon encadrante **Madame BENBOUDJEMA Dalila** pour son accompagnement, **Monsieur BALLA Amar** le responsable du service des stages, ainsi que toute l'équipe pédagogique et administrative de l'ESI pour leurs efforts pour nous fournir la meilleure formation.

Mes remerciements vont également aux membres de jury pour le temps qu'ils accordent pour l'évaluation de ce modeste travail.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ma famille et mes amies pour leur soutien inconditionnel tout au long de mes études. Leur présence, leur compréhension et leur encouragement ont été une source d'inspiration et de motivation essentielle pour surmonter les défis rencontrés.

Merci !

---

# Résumé

Le Edge Computing est un paradigme émergent qui offre des services de stockage et de traitement de données à la périphérie du réseau. Contrairement au Cloud Computing qui centralise les traitements dans les centres de données, le Edge Computing est particulièrement adapté aux applications nécessitant une faible latence et une sécurité renforcée en raison de sa proximité avec les utilisateurs finaux. Les caractéristiques du Edge qui répondent aux besoins des applications IoT, ont favorisé son utilisation dans divers domaines, permettant aux nœuds et serveurs Edge de jouer différents rôles pour assurer la fourniture des services. De ce fait, la gestion et le contrôle de l'utilisation des ressources dans le Edge est devenue indispensable.

Dans le contexte de gestion des ressources, les langages d'expression des droits numériques tels que Open Digital Rights Language (ODRL), offrent une flexibilité et une extensibilité pour spécifier les droits et les autorisations associés aux différents acteurs et actifs. En intégrant les langages d'expression des droits numériques dans le Edge Computing, il devient possible de définir des politiques pour les nœuds et serveurs Edge, garantissant ainsi un contrôle précis et une gestion efficace des ressources dans ce paradigme.

Dans ce travail nous avons élaboré une solution détaillée qui définit les mécanismes de gestion des ressources du Edge Computing en utilisant les politiques ODRL. Notre solution permet l'exploitation efficace de ces politiques pour la définition et l'attribution des rôles aux nœuds Edge. Grâce à une architecture modulaire et extensible, notre solution offre un contrôle et une surveillance de la fourniture de services dans le Edge Computing, en respectant les rôles et les politiques ODRL définis. Pour démontrer sa faisabilité, nous avons mis en œuvre et évalué une preuve de concept expérimentale, ce qui a validé l'efficacité de notre solution dans la gestion des ressources du Edge Computing.

**Mot clés :** Edge Computing, Cloud Computing, Fourniture de services, ODRL.

---

# Abstract

Edge Computing is an emerging paradigm that provides storage and data processing services at the network edge. Unlike Cloud Computing, which centralizes processing in data centers, Edge Computing is particularly suitable for applications requiring low latency and enhanced security due to its proximity to end users. The characteristics of Edge Computing that meet the needs of IoT applications have facilitated its use in various domains, allowing Edge nodes and servers to play different roles in service delivery. As a result, the management and control of resource utilization in the Edge have become indispensable.

In the context of resource management, digital rights expression languages such as Open Digital Rights Language (ODRL) offer flexibility and extensibility to specify rights and permissions associated with different actors and assets. By integrating digital rights expression languages into Edge Computing, it becomes possible to define policies for Edge nodes and servers, thereby ensuring precise control and efficient resource management in this paradigm.

In this work, we have developed a detailed solution that defines resource management mechanisms in Edge Computing using ODRL policies. Our solution enables effective utilization of these policies for role definition and assignment to Edge nodes. Leveraging a modular and extensible architecture, our solution provides control and monitoring of service delivery in Edge Computing while adhering to the defined roles and ODRL policies. To demonstrate its feasibility, we implemented and evaluated an experimental proof of concept, validating the effectiveness of our solution in Edge Computing resource management.

**Key Words :** Edge Computing, Cloud Computing, Service provisioning, ODRL.

---

# Table des matières

<b>Dédicace</b>	<b>i</b>
<b>Remerciements</b>	<b>ii</b>
<b>Résumé</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iv</b>
<b>Table des matières</b>	<b>vii</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>ix</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>x</b>
<b>Liste des listings</b>	<b>x</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>x</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>I Synthèse Bibliographique</b>	<b>3</b>
<b>1 Cloud et Edge Computing</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Le Cloud Computing . . . . .	4
1.2.1 Qu'est ce que le Cloud Computing? . . . . .	4
1.2.2 Architecture . . . . .	6
1.2.3 Services du Cloud Computing . . . . .	6
1.2.4 Modes de Déploiement du Cloud Computing . . . . .	7
1.2.5 Challenges et défis du Cloud Computing . . . . .	8

---

1.3	Le Edge Computing . . . . .	9
1.3.1	Qu'est ce que le Edge Computing? . . . . .	9
1.3.2	Architecture du Edge Computing . . . . .	10
1.3.3	Modèles du Edge Computing . . . . .	11
1.3.4	Challenges et défis du Edge Computing . . . . .	13
1.4	Comparaison entre les caractéristiques du Cloud et Edge Computing . . . . .	14
1.5	Conclusion . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Open Digital Rights Language - ODRL</b>	<b>17</b>
2.1	Introduction . . . . .	17
2.2	Les langages d'expression de droits . . . . .	17
2.3	Le langage ODRL . . . . .	19
2.4	Le modèle d'information de l'ODRL . . . . .	20
2.5	Conclusion . . . . .	24
<b>3</b>	<b>L'expression des droits numériques dans les paradigmes de fourniture de services</b>	<b>25</b>
3.1	Introduction . . . . .	25
3.2	Quelques travaux utilisant les politiques de droits numériques dans les paradigmes de fourniture de service . . . . .	25
3.3	Edge Computing basé sur les politiques ODRL . . . . .	30
3.4	Synthèse . . . . .	33
3.5	Conclusion . . . . .	34
<b>II</b>	<b>Contribution</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>Conception de la solution</b>	<b>37</b>
4.1	Introduction . . . . .	37
4.2	Présentation de la solution . . . . .	37
4.2.1	Objectifs de la solution . . . . .	37
4.2.2	Architecture générale . . . . .	38
4.3	Gestion des rôles et des politiques ODRL . . . . .	39
4.3.1	Définition des politiques . . . . .	39
4.3.2	Stockage des politiques . . . . .	40
4.3.3	Utilisation des politiques . . . . .	41

4.4	Contrôle de fourniture de services Edge . . . . .	41
4.4.1	Examination des demandes de services . . . . .	43
4.4.2	Gestion des obligations . . . . .	44
4.5	Surveillance de fourniture de service selon les politiques ODRL . . . . .	45
4.6	Conclusion . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Réalisation du Système</b>	<b>48</b>
5.1	Introduction . . . . .	48
5.2	Implémentation du système . . . . .	48
5.2.1	Architecture technique du système . . . . .	48
5.2.2	Structure de projet . . . . .	50
5.2.3	Environnement de développement . . . . .	51
5.3	Déploiement du système . . . . .	53
5.3.1	Mise en place de l'infrastructure expérimentale . . . . .	53
5.3.2	Déploiement du système . . . . .	55
5.4	Conclusion . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Tests et Évaluation du système</b>	<b>57</b>
6.1	Introduction . . . . .	57
6.2	Tests fonctionnels du système réalisé . . . . .	57
6.3	Performance du système réalisé . . . . .	62
6.4	Discussion . . . . .	65
6.5	Conclusion . . . . .	65
	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>66</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>69</b>
	<b>Annexe : Politiques ODRL pour le Edge Computing</b>	<b>72</b>
1	Introduction . . . . .	72
2	Les politiques générales . . . . .	72
3	Les politiques du rôle Solo . . . . .	76
4	Les politiques du rôle Cloud-Support (A) . . . . .	77
5	Les politiques du rôle Cloud-Support (B) . . . . .	79
6	Les politiques du rôle Peer-Support . . . . .	80

---

# Liste des figures

1.1	L'évolution du Cloud Computing [4, 37] . . . . .	5
1.2	L'architecture du Cloud Computing [17] . . . . .	6
1.3	Les modes de déploiement dans le Cloud [24] . . . . .	8
1.4	L'architecture du Edge Computing [11] . . . . .	11
1.5	L'architecture du Mobile Edge Computing [13] . . . . .	12
1.6	L'architecture du Fog Computing [29] . . . . .	12
1.7	L'architecture du Cloudlet [30] . . . . .	13
2.1	Classification des langages d'expression des droits selon les applications des politiques [26] . . . . .	18
2.2	Modèle d'information de l'ODRL [39] . . . . .	21
2.3	Les relations de la classe Rule [39] . . . . .	22
2.4	Les contraintes dans le modèle ODRL [39] . . . . .	24
3.1	Architecture du système de renforcement des politiques de confidentialité [16] .	26
3.2	Architecture du toolkit Seckit [9] . . . . .	27
3.3	Architecture de IoTGuard[7] . . . . .	27
3.4	Architecture du module de renforcement de sécurité en local dans le Fog Computing[2]	28
3.5	Architecture du module de renforcement de sécurité à distance dans le Fog Computing[2] . . . . .	29
3.6	Architecture du moteur de gestion de politiques [23] . . . . .	30
3.7	Architecture du système de protection du Edge basé sur les politiques ODRL [19]	31
4.1	Architecture générale de la solution . . . . .	38
4.2	Diagramme de cas d'utilisation de l'administrateur de l'infrastructure . . . . .	40
4.3	Diagramme de séquence de récupération des politiques d'un Edge . . . . .	41
4.4	Diagramme de séquence de filtrage des demandes de service . . . . .	42
4.5	Diagramme d'activité de l'examination des demandes de service . . . . .	43
4.6	Diagramme d'activité de vérification des obligations . . . . .	45

---

4.7	Diagramme d'activité du processus d'audit . . . . .	46
5.1	Architecture technique du système implémenté . . . . .	49
5.2	Aperçu d'un exemple de correspondance Edge-Rôle . . . . .	50
5.3	Aperçu du stockage des politiques ODRL selon les rôles et les services . . . . .	51
5.4	Structure des répertoires et fichiers du projet . . . . .	52
5.5	Architecture des nœuds de la couche Cloud et de la couche de données . . . . .	54
5.6	Architecture des nœuds de la couche Edge . . . . .	54
5.7	Schéma de mise en place de l'infrastructure expérimentale . . . . .	55
5.8	Diagramme de déploiement des nœuds de l'infrastructure expérimentale . . . . .	55
6.1	Procédure de test du fonctionnement du système . . . . .	58
6.2	Résultats d'acceptation d'une demande de service . . . . .	60
6.3	Résultats de refus d'une demande de service . . . . .	60
6.4	Exemple d'une entrée de journalisation du comportement du Edge . . . . .	61
6.5	Exemple d'une entrée de journalisation d'un comportement interdit pour le Edge . . . . .	61
6.6	Résultats de notification de violation des politiques . . . . .	61
6.7	Résultats de performance selon le service demandé et la réponse fournie. . . . .	62
6.8	Illustration des transferts effectués dans le cas d'acceptation et de refus d'une demande de service . . . . .	64
6.9	Résultats de performance en fonction du nombre des nœuds de l'infrastructure . . . . .	64

---

## Liste des tableaux

1.1	Tableau comparatif entre Cloud et Edge Computing . . . . .	15
2.1	Tableau comparatif des langages d’expression des droits [10] . . . . .	19
3.1	Tableau des aspects selon les rôles et les services Edge [19] . . . . .	33
3.2	Tableau comparatif de quelques travaux existants . . . . .	35
5.1	Spécifications techniques des nœuds de l’infrastructure expérimentale . . . . .	53
6.1	Les demandes des scénarios de tests de performance . . . . .	63
1	Organisation des politiques selon les rôles et les services . . . . .	72

## Liste des listings

2.1	Exemple d’une politique ODRL . . . . .	20
4.1	Exemple de validation d’une politique . . . . .	44
6.1	Exemple d’une politique ODRL . . . . .	58
6.2	Exemple d’une demande de services . . . . .	59
3	Politique générale 01 . . . . .	73
4	Politique générale 02 . . . . .	73
5	Politique générale 03 . . . . .	74
6	Politique générale 04 . . . . .	74
7	Politique générale 05 . . . . .	75
8	Politique générale 06 . . . . .	75
9	Politique du rôle Solo . . . . .	76
10	Politique 01 du rôle Cloud-Support (A) . . . . .	77
11	Politique 02 du rôle Cloud-Support (A) . . . . .	78
12	Politique 03 du rôle Cloud-Support (A) . . . . .	79
13	Politique du rôle Cloud-Support (B) . . . . .	79
14	Politique du rôle Peer-Support . . . . .	80

---

# Liste des abréviations

**ADB** Active Data Bundle.

**ADB-CP** ADB-Creation Point.

**ADB-DP** ADB-Dissemination Point.

**AWS** Amazon Web Services.

**ccREL** Creative Commons Rights Expression Language.

**CDN** Content Delivery Network.

**CERIST** Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique.

**CO-OP** Context-Operation.

**CSS** Cascading Style Sheets.

**DR** Data Repository.

**DRM** Digital Rights Management.

**EC2** Elastic Compute Cloud.

**EFN** Edge Fog Node.

**ETSI** European Telecommunications Standards Institute.

**GC ODRL** Groupe Communautaire ODRL.

**GCE** Google Compute Engine.

**GPL** IoTGuard Policy Language.

**HTML** Hypertext Markup Language.

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol.

**IaaS** Infrastructure as a Service.

**ICN** Information-Centric Networking.

**IFN** Intermediate Fog Node.

**IoT** Internet of Things.

**IT** Information Technology.

**JSON** JavaScript Object Notation.

**JSON-LD** JavaScript Object Notation for Linked Data.

**LPEM** Local Policy Enforcement Module.

---

**MCC** Mobile Cloud Computing.  
**MEC** Mobile Edge Computing.  
**METS** Metadata Encoding and Transmission Standard.  
**MPEG-21** Moving Picture Experts Group 21/5.  
**MVC** Modèle-Vue-Contrôleur.  
**NIST** National Institute of Standards and Technology.  
**ODRL** Open Digital Rights Language.  
**PaaS** Platform as a Service.  
**PAM** Policy Application Manager.  
**PDP** Policy Decision Point.  
**PEFM** Policy Enforcement Fog Module.  
**PEP** Policy Enforcement Point.  
**PIP** Policy Information Point.  
**PME** Policy Management Engine.  
**PMS** Policy Management System.  
**POE** Permissions & Obligations Expression.  
**PR** Policy Repository.  
**PRP** Policy Retrieval Point.  
**RAN** Radio Access Network.  
**RBAC** Role-Based Access Control.  
**RDF** Resource Description Framework.  
**REL** Rights Expression Language.  
**SaaS** Software as a Service.  
**SSH** Secure Shell.  
**USA** United States of America.  
**VM** Virtual Machine.  
**VSCode** Visual Studio Code.  
**W3C** World Wide Web Consortium.  
**XaaS** Anything as a Service.  
**XACML** eXtensible Access Control Markup Language.  
**XML** Extensible Markup Language.  
**XrML** Extensible Rights Markup Language.  
**YAML** YAML Ain't Markup Language.